

ANNALEN  
DER  
PHYSIK UND CHEMIE.

---

B A N D C L X .



17923

ANNALEN  
DER  
PHYSIK  
UND  
CHEMIE.

SECHSTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

von

J. C. POGGENDORFF.

ZEHNTER BAND.

NEBST ACHT FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1877.  
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Je

Johann Christian Poggendorff.

---

N  
hin  
leit  
der  
leid  
fan  
nie  
wa  
Or  
Ma  
das

cer  
wo  
Zu  
wä  
fas  
erh  
und  
nac  
zie  
als  
ein  
noch  
sein  
Itz  
stä

## I.

Nachdem nunmehr die Annalen drei und funfzig Jahre hindurch ununterbrochen von derselben sicheren Hand geleitet und im In- und Auslande ein hochangesehenes Organ der physikalischen Wissenschaften geworden sind, haben sie leider ihren bewährten Führer verloren, welcher im Anfang dieses Jahres seine segensreiche Wirksamkeit hienieden beendet hat. Der Beginn des vorliegenden Bandes war seine letzte Arbeit; vor Allem ist es daher hier am Ort der vielseitigen und ausgezeichneten Leistungen des Mannes zu gedenken, dessen Name nun zum letzten Mal das Titelblatt seiner unvergänglichen Annalen schmückt.

Johann Christian Poggendorff wurde am 29. December 1796 zu Hamburg geboren, wo sein Vater ein wohlhabender Mann und in jüngeren Jahren Besitzer einer Zuckerfabrik war, der aber in der verhängnisvollen Zeit während der Besetzung der Stadt durch die Franzosen fast sein ganzes Vermögen verlor. Sein Sohn Christian erhielt den ersten Unterricht in einigen Schulen Hamburgs, und kam dann behufs weiterer Ausbildung zu Michaelis 1807 nach dem benachbarten Schiffbeck in die Fidler'sche Erziehungsanstalt. Ostern 1812 verließ er dieselbe und trat als Lehrling in die Apotheke von Hafse zu Hamburg ein; hier blieb er auch nach Vollendung seiner Lehrjahre noch einige Zeit, ging dann aber 1818, nachdem inzwischen seine Eltern gestorben waren, als Apotheker-Gehülfe nach Itzehoe. Der Gedanke bei seiner Mittellosigkeit nie selbstständig werden zu können, sowie der Hang zu wissen-

schaftlichen Beschäftigungen, namentlich zur Chemie, bewogen Poggendorff den wiederholten Aufforderungen seines vormaligen Schiffbecker Schulkameraden des Dr. Runge in Berlin, der gleichfalls Pharmaceut gewesen war, Folge zu leisten und Naturwissenschaften zu studiren. Er gab daher 1820 seine ihm sonst sehr zusagende Stellung in Itzehoe auf und siedelte nach Berlin über, wo er im April des genannten Jahres eintraf und sich immatrikuliren ließ.

Sein Fleiß und sein Talent erwarben ihm bald Freunde. Er wurde bekannt und schon 1823 erhielt er nach dem Tode von Tralles den Auftrag die meteorologischen Beobachtungen für die Akademie der Wissenschaften zu Berlin anzustellen, wofür ihm ein freilich nur kleines Gehalt ausgesetzt wurde, das aber seiner bedrängten Finanzlage sehr zu statthen kam, da sein geringes Erbtheil für die Studien schon ziemlich verausgabt war. Um diese Zeit trug er sich auch mit der Idee eine chemisch-physikalische Zeitschrift zu gründen. Als daher der Prof. Gilbert in Leipzig, der Herausgeber der nach ihm benannten Annalen der Physik, ganz unerwartet am 7. März 1824 starb, nahm Poggendorff daraus Anlaß seine Absicht dem Verleger gedachter Annalen Joh. Ambr. Barth in Leipzig mitzutheilen, ihm aber zugleich für die Fortführung der letzteren Vorschläge zu unterbreiten, durch welche die in jeder Beziehung nachtheilige Konkurrenz zweier gleichartigen Zeitschriften verhütet würde. Die Verhandlungen zwischen beiden führten bald dahin, daß Poggendorff die Redaktion der Annalen übernahm, und sie fortan unter dem Titel Annalen der Physik und Chemie nach einem erweiterten Plan herausgab. Durch dieses Uebereinkommen war die drohende Zersplitterung der litterarischen Hülfsmittel für die Physik in Deutschland glücklich abgewendet, und ist es zum Heil der Wissenschaft so geblieben bis zur Gegenwart.

Durch die geschickte Leitung der Annalen, sowie durch bedeutende sich fortwährend mehrende wissenschaftliche

Arbeiten errang Poggendorff in der gelehrten Welt weit-hin einen angesehenen Namen, in Folge dessen er 1830 zum Königl. Professor, 1834 zum Dr. phil. hon. und Professor extraord. an der Universität zu Berlin, 1839 zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften daselbst, 1844 zum Dr. med. hon. von der Universität zu Königsberg und außerdem im Lauf der Jahre zum Mitglied vieler auswärtigen Akademien und gelehrten Gesellschaften ernannt wurde; auch durch Orden von Preußen, Baden, dem Groß-Herzogthum Hessen, von Schweden und Italien wurde seinen Verdiensten ehrenvolle Anerkennung zu Theil. Ordentliche Professuren sind ihm mehrmals von verschiedenen Universitäten angetragen, er hat aber stets abgelehnt und es vorgezogen unbirrt durch amtliche Funktionen seinen Annalen und seinen Forschungen zu leben. In ihnen fand er seinen Beruf, in der Familie und im Freundeskreise seine Freude und Erholung.

## II.

Für die Redaktionsgeschäfte einer Zeitschrift hatte Poggendorff eine außerordentliche Begabung. Neben reichen historischen und litterarischen Kenntnissen, welche ihm bei der Beurtheilung wissenschaftlicher Arbeiten erhebliche Dienste leisteten, besaß er Eigenschaften, die ihm gerade in diesem Beruf besonders zu statten kamen. Der Sinn für Ordnung erfüllte sein ganzes Wesen. Wenn er, wie es geschah, für Alles zum regelmäßigen Betrieb erforderliche rechtzeitig sorgte und bei der Ausführung mit Umsicht das Zweckmässigste suchte und wählte, so wird man eine solche Geschäftsführung zwar eine durchaus ordentliche nennen, sie aber doch nicht höher als eine pflichtgemäß veranschlagen, die überall zu verlangen ist; seine Gewohnheiten gingen weit darüber hinaus. Welcher Art diese waren mag u. a. ein Fall darlegen. Unter den Sendungen an ihn befanden sich auch viele Dissertationen, Gelegenheitsschriften und andere für wissenschaftliche Zwecke verwertbare Drucksachen; diese ließ er abthei-

lungswise einbinden und bekam so mit der Zeit eine Sammlung von etwa 380 Bänden mit mehr als 4000 Abhandlungen. Die Bände nummerirte er und legte dafür einen Katalog an, der wiederum zwei stattliche Bände umfasste, von denen der eine die Titel der in jedem nummerirten Band enthaltenen Schriften, der andere die Autoren-Nachweise angab. Ein ähnliches umfangreiches Register hatte er für die vielen Tausende in seinem biographischen Wörterbuch aufgeföhrten Schriftsteller angefertigt, und mit gleicher Sorgfalt verfuhr er mit Allem, was er sammelte bis herab auf winzige Kleinigkeiten. Nicht ohne Freude und Verwunderung konnte man diese Zeugen seiner Ordnungsliebe ansehen, deren nächster Vortheil für ihn jedenfalls darin bestand, daß er mit Leichtigkeit jede ihm wünschenswerthe und zugängliche Litteraturkenntniß sich beschaffen konnte und er mit Suchen in seinem Leben überhaupt nur wenig Zeit verlor. — Was er schrieb war sauber und deutlich, seine Ausdrucksweise, sowohl die schriftliche wie die mündliche, musterhaft klar, bündig, offen, und dabei stets verbindlich; er hatte die unter Umständen beneidenswerthe Gabe rückhaltslos aber mit Ruhe und Milde seine Meinung zu vertreten. Es sind dies alles wohl nur Aeußerlichkeiten, sie tragen aber doch erheblich dazu bei den geschäftlichen Verkehr zu erleichtern, und dieser war mit Poggendorff in der That ein sehr angenehmer.

Was nun den Inhalt der Annalen betrifft, so sollten dieselben die rein wissenschaftliche Seite der Chemie und Physik in ihrem ganzen Umfang behandeln und die angränzenden Gebiete der Astronomie, Meteorologie, Mineralogie und Geognosie, gelegentlich wohl auch einen verwandten technischen Gegenstand mit in Betracht nehmen; dabei sollte nicht allein das Bedürfniß der weiter forschen- den Fachmänner, sondern auch der Standpunkt der sich noch Heranbildenden berücksichtigt werden. Zur Ausführung dieses Planes hatten die meisten unter den einheimischen Gelehrten von Bedeutung ihre Mitwirkung zu-

gesagt und Poggendorff war somit von vornherein in der Lage seinen Lesern eine grosse Zahl gehaltreicher Originalarbeiten vorführen zu können. Nächstdem war er bemüht alle wichtigen Leistungen des Auslandes, wie die von Berzelius, Brewster, Faraday, Fresnel, Regnault u. A. durch Uebersetzungen dem deutschen Publikum bekannter und zugänglicher zu machen. Endlich gab er von Zeit zu Zeit übersichtliche Zusammenstellungen der neueren Forschungen und Ergebnisse in verschiedenen Zweigen der Naturlehre, um eine allgemeinere Kenntniß derselben herbeizuführen und zu erneuten Untersuchungen anzuregen. Derartige werthvolle Aufsätze waren z. B. die über artesische Brunnen, Erdbeben, Korallen-Inseln, Dämpfe, Zusammensetzung der Atmosphäre, Atomgewichte u. a. m.

Anfänglich fanden Physik und Chemie gleiche Berücksichtigung; allein der grosse Aufschwung, welchen das Studium beider seit dem zweiten Decennium dieses Jahrhunderts nahm, erweiterte sie so sehr und die dabei eingeschlagenen Wege gingen bald so weit auseinander, daß es unausführbar wurde beiden zugleich in den Annalen noch ferner gerecht zu werden. Poggendorff begann daher sich immermehr auf die Physik zurückzuziehen und die Chemie, namentlich die organische, den Fachblättern dafür zu überlassen. Allein selbst diese Beschränkung befreite die Redaktion nicht von Schwierigkeiten. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß in die Zeit der Annalen die Anfänge und Entwicklung des Elektromagnetismus und Diamagnetismus, der Induktion, elektr. Telegraphie, Galvanoplastik, Thermochrose, mechan. Wärmetheorie, Fluorescenz, Spektralanalyse und Photographie fallen, vieler andern minder umfangreichen Abschnitte gar nicht zu gedenken, so wird es nicht Wunder nehmen, wenn auch in der Physik mit der Zeit die Zahl der Arbeiter und die Menge des Stoffes dermaßen anwuchs, daß sich Poggendorff genötigt sah, durch Ergänzungsbände, deren er sieben herausgab, dem überreichen Material Raum zu schaffen, und selbst

noch in seinem letzten Lebensjahr den Annalen die Beiblätter zuzufügen, welche bestimmt sind einen fortlaufenden regelmässigen Ersatz der Ergänzungsbände zu bilden und hauptsächlich über die ausländischen Arbeiten zu berichten. Es steht zu hoffen, daß hierdurch eine befriedigende Vollständigkeit sich wird erreichen lassen, und die Annalen auch ferner den wichtigen Vortheil bieten werden in Deutschland die gesammte Physik zu vertreten.

Hatte nun auch das ursprüngliche Programm manche Aenderung erfahren, so war der Geist in den Annalen doch immer derselbe geblieben. Stets legte Poggendorff auf die experimentelle Grundlage den Hauptwerth, müsigen Spekulationen blieb er entschieden abhold. Willig und unpartheiisch ließ er allezeit jede Ansicht zu Worte kommen, war immer beflissen jedes Verdienst, auch das bescheidenste, zur Anerkennung zu bringen, unberechtigte Ansprüche abzuwehren und jedem das Seine zu sichern. Nach diesen Grundsätzen verfuhr er auch mit Strenge gegen sich selbst, und daher ist er bei seinen vielseitigen Untersuchungen niemals in eine unfreundliche Polemik gerathen. Er redete durch Thatsachen mit seinem Gegner und der Person trug er unter allen Umständen ein aufrichtiges Wohlwollen entgegen. So ist es gekommen, daß er unter allen wechselnden Strömungen der Zeit sich und seine Annalen hoch hielt, und sie zu einem würdigen Denkmal der deutschen Leistungen in der Physik gemacht hat.

### III.

Ein ansehnlicher Theil der in den Annalen enthaltenen Abhandlungen röhrt von Poggendorff selbst her, und nicht wenige darunter gehören zu den bedeutsamsten ihrer Zeit. Sie zeichnen sich aus durch Mittheilung sinnreicher Erfindungen, bald in der Methode der Untersuchung, bald in der Konstruktion von Instrumenten, und dieser Charakter sichert ihnen einen bleibenden Werth. Gleich seine erste Arbeit „*Physisch-chemische Untersuchungen zur näheren Kenntniß des Magnetismus der volutaschen*

Säule," die er 1821 in der Isis veröffentlichte, enthielt die Erfindung des so wichtig gewordenen Multiplikators, welche den damaligen Professor der Physik an der Universität P. Erman veranlaßte den erst vor Kurzem Immatrikulirten „eine Zierde der Berliner Hörsäle“ zu nennen. Das Gebiet, in welches Poggendorff hiermit eingetreten war, hat er sein ganzes Leben hindurch mit Vorliebe durchforscht und nach den verschiedensten Richtungen hin ansehnlich erweitert. Eine Aufzählung aller seiner neuen Beobachtungen, Aufklärungen, Messungen, neu erdachten oder verbesserten Apparate würde weit den Raum überschreiten, den eine Uebersicht seiner Gesammthätigkeit billiger Weise in Anspruch nehmen darf; dieselben sind überdies meist Eigenthum der Wissenschaft geworden und mehr oder minder vollständig in die Lehrbücher übergegangen. Nur um den Reichthum und die Bedeutung seiner Forschungen zu veranschaulichen seyen hier neben dem zuvor erwähnten Multiplikator noch besonders genannt:

Die Methode der Spiegelablesung, die u. a. Gauß für das Magnetometer verwertete; die Kompensationsmethode zur Messung der elektromotorischen Kraft konstanter und inkonstanter Ketten, die umfangreichen Untersuchungen über die Induktion und die Holtz'sche Maschine, die zahlreichen Messungen elektromotorischer Kräfte und Leitungswiderstände, die Spannungsreihen in verdünnter Schwefelsäure und Cyankalium, der Nachweis des elektromotorischen Gesetzes, die galvanische Darstellung der Eisensäure und verschiedener Hydrüre, die galvanische Färbung des Wismuths, das Silbervoltameter, das Rheochord, der Inversor, die Wippe für das Studium der Polarisationsströme, die Verbesserung der Grove'schen Kette und Sinusbussole, seine Thermosäule, die praktischen allbekannten Klemmschrauben für galvanische Drahtleitungen, eine nicht zu unterschätzende Erfindung gegenüber den früheren höchst unbequemen Einrichtungen für denselben Zweck; der Nachweis der Polarität des Diamagnetismus, seine Quecksilberluftpumpe, Fallmaschine und die vortreff-

liche populäre Erklärung der Fessel'schen Scheibe. — Auf eine Menge anderer Gegenstände weist die unten folgende Zusammenstellung seiner sämmtlichen Arbeiten hin.

Viele Abhandlungen Poggendorff's erschienen zuerst in den Monatsberichten der Akademie zu Berlin, gingen aber daraus in die Annalen über, welche somit alle Aufsätze von ihm enthalten. Dieselben sind hier nach ihrem Inhalt gruppirt und ist bei jedem die Nummer des Bandes angegeben, in welchem er sich befindet. Um daraus die Jahreszeit der Veröffentlichung ermitteln zu können sey bemerkt, dass im Jahr 1824 Band 1 und 2, im J. 1833 Bd. 27 bis 30, in jedem anderen Jahr drei Bände ausgegeben sind.

## I. Elektricität.

### a) Reibungs-Elektricität.

- Einfluss einiger noch nicht ermittelten Umstände auf die elektr. Entladungerscheinungen 126.
- Wärmeentwickl. in d. Luftstrecke elektr. Entladungen 132.
- Einige Vorgänge bei Entladung d. Leyd. Flasche 133.
- Elektroskopische Notizen 131; 154.
- Neue elektr. Bewegungsscheinung 131.
- Ueb. einen noch wenig untersuchten Fall von Elektricitätsleitung d. Glases 134.
- Unabhängigk. d. Influenzstromes v. d. Widerstand leitender Substanzen 134.
- Zur Frage, wie nicht leitende Substanzen influencirt werden 139.
- Ueb. ein Paar anomale Erscheinungen 136.
- Phosphorescenzzerregung 136.
- Elektr. Spitzenwirkung 139.
- Reaktion zweier Influenzmaschinen auf einander 131.
- Vereinfachg in Konstruktion u. Gebrauch d. Holtz'schen Influenzmaschine erster Art 139.
- Ueb. das Holtz'sche Rotationsphänomen 139.
- Neue merkwürd. Eigenschaften des diametralen Konductors d. Elektromaschine u. eine darauf gegründete Doppelmaschine dieser Art 141.
- Versuch einer Theorie d. Elektro-Doppelmaschine 145.
- Zur näheren Kenntniss d. Elektromaschine zweiter Art 150; 152; 153.
- Fernere Thatsachen zur Begründg einer endgültigen Theorie der Elektromaschine zweiter Art 156.

## b) Galvanismus.

Physisch-chemische Untersuchungen zur näheren Kenntniß des Magnetismus d. volt. Säule. Isis 1821, S. 687.

Bemerkg zu einem galvan. Versuch v. Runge 8.

Fechner's experimentum crucis 45.

Ueb. das allgem. galvanometrische Gesetz 57.

Ueb. d. allgem. galvanometr. Gesetz zur Erwiderung auf eine Stelle im Aufsatze von Lenz 61.

Der Inversor 45.

Einrichtg u. Gebrauch einiger Werkzeuge zum Messen d. Stärke elektr.

Ströme u. der dieselbe bedingenden Elemente 50.

Gebrauch der Galvanometer als Mefswerkzeuge 56.

Mittel zur Erhöhung d. Empfindlichkeit eines Galvanometers 56.

Vorzüge der Sinusbussolle 57.

Thermische Wirkg elektr. Ströme 46.

Ein Phänomen der Verzweigk elektr. Ströme 55.

Ueb. ein Problem bei linearer Verzweigk elektr. Ströme 67.

Ueb. elektrothermische Zersetzung u. ein Paar neue eudiometr. Methoden 71.

Vorgänge im galvan. Strom 73.

Ueb. die Leitung galvan. Ströme durch Flüssigkeiten 64.

Ueb. d. Elektricitätsleitg d. Aluminiums 97.

Galvan. Verhalten d. Palladiums 136.

Bedeutg d. Gesetzes der festen elektrolytischen Aktion für d. Theorie vom Voltaismus 44.

Ueb. d. Frage ob es wirksame galv. Ketten ohne primitive chemische Aktion gebe u. üb. d. Bildg d. Eisensäure auf galv. Wege 54.

Galvanoplastische Nachbildung einer gestochenen Kupferplatte 54.

Bemerkg zu d. Versuchen v. Smee üb. Metallreduktion durch d. galv. Strom u. üb. Pouillet's elektrochem. Hypothese 65.

Galvan. Reihe in Cyankaliumlösung 66.

Galvan. Verhalten d. amalgamirten Eisens 67.

Stelle d. Aluminiums in d. galv. Reihe 73.

Färbg d. Wismuths auf galv. Wege 74.

Ueb. die angebl. Hydrüre d. Silbers u. einiger anderen Metalle 75.

Verbesserte Einrichtg d. Voltameters zur getrennten Auffangung beider Bestandtheile d. Wassers 55.

Galvan. Wasserzersetzung u. einige verwandte Gegenstände 70.

Resorption d. Knallgases durch Platinelektroden 70.

Ein Mittel zur Beförderg d. galv. Wasserzersetzung 71.

Beschreibg d. Wippe u. deren Anwendg zum Studium d. galv. Polarisation 61.

Neues Verfahren die elektromotor. Kraft eines galv. Stroms ins Unbestimmte zu erhöhen 60.

Ueb. hydroelektr. Ströme höherer Ordnung 61.

Ueb. ein bei d. galvan. Polarisation vorkommendes Gesetz 67.

Ueb. d. galvan. Ketten aus zwei Flüssigkeiten u. zwei einander nicht berührenden Metallen 49.

Mittel dem Strom d. galvan. Ketten mit einer Flüssigkeit eine gröfsere Stärke u. Beständigkeit zu verleihen 51.

Ueb. d. volt. Ketten mit zwei einander berührenden Flüssigkeiten 53.

Auffallende Stromstärke d. Zinkeisenkette u. verwandte Gegenstände 50.

Berichtigg einer „physikalisch-histor. Berichtigg“ (betreff. d. Zinkeisenkette) 55.

Beleg für d. Unrichtigkeit der Behauptg Becquerel's hinsichtlich d. Wirkg einer Kupferzink- u. Platinzinkkette 53.

Ueb. einen Versuch v. Daniell u. die daraus gezogene Folgerg (betrifft Ketten v. Kupfer u. amalg. Zinn od. Zink) 56.

Ueb. die mit Chromsäure konstruirte galv. Kette 57.

Zur Erklärg d. Gasbatterie v. Grove 58.

Verbesserte Konstruktion d. Grove'schen Kette 134.

Einfluss d. Wärme auf d. elektromotor. Kraft d. galv. Ketten 50.

Methode zur quantitativen Bestimmg d. elektromotor. Kraft inkonstanter galv. Ketten 54; 55.

Methode die relativen Maxima der Stromstärken zweier volt. Ketten zu bestimmen 55.

Elektromotor. Kräfte d. galvan. Ströme 70.

Bemerkg üb. Regnauld's Methode zur Bestimmg d. elektromotor. Kraft 91.

Erwiderg auf eine Bemerkg v. Pohl (betreff. galv. Ketten) 54.

Zur Abhandlg v. Martens üb. d. Passivität d. Metalle u. die Theorie d. volt. Säule 55.

Ueb. de la Rive's Hypothese vom Rückstrom in d. volt. Säule 56.

Rechtfertigg seiner (P.'s) Ansicht üb. d. angebl. Rückstrom in d. volt. Säule 62.

Wirklichkeit d. Uebergangswiderstandes bei hydroelektr. Ketten 52.

Bemerkg zu d. Aufsatz v. Vorsselman de Heer üb. d. Uebergangswiderstand 53.

Zur Kenntnis d. Induktionsapparate u. deren Wirkungen 94.

Wärmewirkg d. Induktionsfunken 94.

Nene Anwendg d. Induktionslichts 98.

Stö  
l  
Wa

Neu

Neu

Ele

Ueb

The

Neu  
The

Ueb.

Bem

Zusa

na

Mag

Instr

Meth

Bem

Ueb.

Ueb.

Silic

Die

Bewe

Verha

Ersch

Gesch

Zu P

Bemer

Anwei

pfen

Ueb.

Ueb.

Idee

Result

u. P

Beschr

Ueb.

**Störung d. Funkenentladg d. Induktoriums durch seitliche Nähe isolirender Substanzen** 126.

**Wanderg d. negativen Induktionslichts im luftverdünnten Raum** 138.

**Neue Verstärkungsweise d. Induktionsstromes** 95.

**Neue Art v. Tonerregg durch d. elektr. Strom** 98.

**Elektroskopische Benutzg des elektr. Eies** 99.

**Ueb. d. Extrastrom d. Induktionsstromes** 121.

**Neue Klasse v. Induktionserscheinungen** 123.

### c) Thermo-Elektricität.

**Neue thermoelektr. Kette** 50.

**Thermoelektr. Gegenstrom** 58.

## II. Magnetismus.

**Ueb. Sabine's magnetische Beobachtgen** 6.

**Bemerkg zu einer magnet. Beobachtg v. Muncke** 6.

**Zusammenstellg d. Beobachtgen üb. d. Einfluss d. Erdbeben auf d. Magnetnadel** 12; 13.

**Magnetische Beobachtgen** 74.

**Instrument zum Messen d. magnet Abweichg** 7.

**Methode v. Gauß zur genauen Bestimmg d. relativen Deklination** 32.

**Bemerkg üb. d. Erdmagnetismus** 37.

**Ueb. einige Magnetisirungs-Erscheinungen** 45.

**Ueb. d. temporären Magnetismus d. gehärteten Stahls** 54.

**Silicium magnetisch, Chloraluminium, Tellur, Selen diamagnetisch** 73.

---

**Die Saxton'sche Maschine** 45.

**Beweis, dass ein elektrodynam. Schraubendraht noch kein Magnet ist** 52.

**Verhalten d. Quecksilbers bei seiner elektromagnet. Rotation** 77.

**Erscheinungen bei geschlossenen Elektromagneten** 85.

## III. Wärme.

**Geschichtliches üb. die Polarisation d. Wärme** 37.

**Zu Poisson's Theorie üb. d. Temperatur d. Erdballs** 39.

**Bemerkg zu Prechtls Ansicht üb. d. Dampfbildg** 35.

**Anweisung u. Tafeln zur leichtern Berechng d. spec. Gewichts v. Dämpfen aus d. Ergebnissen d. Beobachtg** 41.

**Ueb. d. Berechng d. spec. Gewichts v. Dämpfen** 46.

**Ueb. d. Siedepunkt gemischter Flüssigkeiten** 40.

**Idee zu einem neuen Hygrometer** 54.

**Resultate stündl. Thermometerbeobachtgen zu Padua, Leith, Salz-Uffen u. Plymouth** 42.

**Beschreibg eines Luftthermometers** 52.

**Ueb. die Celsius'sche Thermometerskala** 157.

**IV. Licht.**

Theorie des s'Gravesand'schen Heliostaten 17.  
 Stroboskopische Scheiben, Phänakistikop, Phantasmakop 32.  
 Ueb. d. relativen Werth der beiden Lichttheorien 28.  
 Kombination d. Lichtvibrationen nach Fresnel 23.  
 Drehg. d. Polarisationsebene in Flüssigkeiten erklärt nach Fresnel 28.  
 Unterschied zwischen natürl. u. depolarisirtem Licht 35.  
 Ein Interferenzphänomen 42.  
 Ueb. die konische Refraktion 48.  
 Bemerkg zu einer Stelle im Aufsatz v. W. H. Miller üb. d. Axen optischer Elasticität in hemiprismat. Krystallen 56.

**V. Mechanik.**

Ueb. d. Axendrehg d. Mondes 28.  
 Mittlere Dichtigkeit d. Erde 57.  
 Der Bumerang 45.  
 Ueb. d. Fessel'sche Rotationsmaschine 90.  
 Abänderg d. Fallmaschine 92; Historisches (das Princip der Masch. betreffend 145).

---

Ueb. Kombinationstöne u. Andeutg zur Lösung d. Problems durch d. Interferenz ungleich langer Wellen 32.

**VI. Meteorologie.**

Tiefer Barometerstand im J. 1827; 8.  
 Tiefer Barometerstand am 30. Jan. 1836 zu Berlin 37.  
 Ueb. den mittleren Luftdruck am Meere 37; 42.  
 Bemerkg üb. Barometer 4; 5.  
 Beschreibg eines Barometers v. Pistor u. Schiek 26.

---

Meteorolog. Beobachtgen zu Berlin 1835 u. 1836 am Schlufs Bd. 34 bis 39.  
 Zusammenstellg d. Beobachtgen üb. d. Nordlicht v. 7. Jan. 1831; 22.  
 Beobachtgen üb. die in d. Nacht v. 12. zum 13. Nov. 1833 in d. Verein.  
 Staaten v. N. A. sichtbar gewesene Sternschnuppen-Erscheinung 33.  
 Meteorsteinfälle im nordöstl. Deutschland u. die Braunauer Meteoreisen-masse 73.  
 Ueb. d. Funkeln d. Sterne 55.

**VII. Chemie.**

Ueb. d. Analyse d. Weinöls v. Dumas 12.  
 Bemerkg üb. d. Zusammensetzg d. Harnstoffs 15. 19.

Bereitg geistiger Getränke aus Milch 32.  
 Tafel üb. d. Atomgewichte d. Elemente u. deren binären Verbindgen 14.  
 Chemische Tafeln üb. d. Atomgewichte u. Zusammensetzg d. Oxyde,  
 Chloride u. Schwefelmetalle 21.  
 Uebersicht d. bisherigen Leistungen in d. Volumtheorie 17.  
 Berechnung d. Zerfallens chemischer Verbindgen in andere 29.  
 Relationen zwischen d. Zusammensetzg ternärer chem. Verbindgen 31.  
 Elementar-Zusammensetzg der bisher zerlegten Substanzen organ. Ursprungs 37.  
 Berechnung d. Resultate endiometrischer Analysen 46.  
 Unsicherheit unserer Kenntnisse üb. d. Zusammensetzg d. Atmosphäre 53.  
 Beziehg zwischen dem spec. Gewicht d. Verbindgen eines Radikals und  
 den Atomgewichten derselben 49.  
 Tabellarische Uebersicht d. Gase n. Dämpfe nach ihrer Zusammensetzg,  
 Verdichtg u. Dichtigkeit 49.

### VIII. Verschiedenes.

Erfahrungen üb. d. artesischen Brunnen 16; 18; 21; 29.  
 Beobachtgen üb. Ankunft u. Abgang d. Zugvögel 27.  
 Ueb. Verbreitung, Beschaffenheit u. Entstehg d. Korallen-Inseln 64.  
 Beale's Lampe 41.  
 Bemerkg zu Perkin's Versuchen üb. d. Zusammendrückbarkeit d. Wassers 9.  
 Folgergen aus Graham's Diffusionsgesetz u. Dutrochet's Beobachtg  
 üb. d. Endosmose 28.  
 Neue Einrichtg d. Quecksilberluftpumpe 125.  
 Ursprung d. Wortes Theodolith 133.

Durch seine Studien in der Geschichte der Physik wurde Poggendorff zu der Auffassung eines Werkes geführt, das eine tiefe Lücke in der naturwissenschaftlichen Litteratur schloß und zu den verdienstvollsten Schöpfungen darin gehört. Es ist dies sein „Biographisch-litterarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften“, 2 Bände, 1863. In demselben sind mehr als 8400 Schriftsteller aller Zeiten und Völker aufgeführt mit der Angabe ihrer Lebensverhältnisse, ihrer Schriften und der Quellen dafür. Wer über die Leistungen der Vergangenheit auf jenen Gebieten Belehrung sucht, wird hoch erfreut seyn für seine Zwecke ein so vollständiges und gründliches Werk zu finden, wie dieses, das in seiner

Art geradezu einzig ist, denn Poggendorff hatte dafür keinen Vorgänger. Man kann es nicht in Gebrauch nehmen ohne zu staunen über den Fleiß, der ein so riesiges Material zu sammeln und zu verarbeiten vermochte; es scheint dazu die Zeit und die Arbeit eines vollen Menschenlebens erforderlich, und Poggendorff hat dies neben allem Anderen in funfzehn Jahren zu Stande gebracht. Er ist auch mit der Fortführung dieses Unternehmens bis an sein Ende beschäftigt gewesen, hat aber, durch andere Arbeiten in Anspruch genommen, den Abschluß stets hinausgeschoben, bis er ihn nicht mehr bewerkstelligen konnte; nachdem jedoch das Schwierigste gethan ist, darf man erwarten, daß es in Zukunft nicht an Kräften fehlen werde um auf dem soliden Grunde weiter zu bauen.

Eine Vorbereitung auf das vorstehend besprochene Handwörterbuch sind die „Lebenslinien zur Geschichte der exakten Wissenschaften“, welche Poggendorff bereits 1853 herausgab. Sie enthalten von 150 der in jenen Wissenschaften namhaften Gelehrten aus dem 16. bis 19. Jahrhundert die wichtigsten Lebensdata, veranschaulicht nach der Methode von Priestley durch horizontale Linien, welche aus ihrer Länge und Lage sofort die Zeit und Dauer des Lebens erkennen lassen; jeder Linie sind einige Erläuterungen über die Hauptleistungen des Betreffenden beigefügt. — Weit früher noch hatte sich Poggendorff mit Liebig zur Herausgabe eines „Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie“ vereinigt, und 1836 damit begonnen, allein er trat schon nach Vollendung des ersten Bandes von dem Unternehmen zurück. Endlich durften bei der Besprechung der rein wissenschaftlichen Tätigkeit Poggendorff's die von ihm an der Berliner Universität gehaltenen Vorlesungen nicht unerwähnt bleiben. Er trug abwechselnd vor: physikalische Geographie und Geschichte der Physik, von denen er besonders die letztere bevorzugte, und am erfolgreichsten lehrte.

## IV.

Angesichts all der im Vorangehenden aufgezählten vielen und zeitraubenden Arbeiten, denen sich Poggendorff unterzog, drängt sich leicht die Vorstellung auf, ihn nur mit Büchern und Instrumenten verkehrend zu denken; und doch war dem keinesweges so. Nie machte er den Eindruck eines mit Geschäften überladenen Mannes, er war stets für jeden zu sprechen, der seines Rathes bedurfte und für seine Freunde fehlte es ihm nie an Zeit. Er liebte die Geselligkeit und in seinem gastlichen Hause herrschte stets ein reger Verkehr. Seine Freunde aus der Akademie, viele andere meist jüngere Gelehrte von nah und fern, nicht selten auch auswärtige zum Besuch in Berlin anwesende Freunde, deren Poggendorff in allen Ländern hatte, bildeten den Haupttheil der Gesellschaft. Alles, was sich neues auf dem Gebiet der Wissenschaft zutrug oder vorbereitete kam da zur Erörterung und gewährte Anregung und Belehrung der mannichfältigsten Art. Es waren gewissermaßen naturwissenschaftliche Gesellschaften, die Poggendorff um sich versammelte und zwar in der denkbar angenehmsten Form; denn die Frau des Hauses, unvergesslichen Andenkens, verstand es meisterhaft die Unterhaltung stets anmuthig zu beleben und einen heiteren ungezwungenen Geist in dem Ganzen zu erhalten. Gern erinnern sich noch in späten Jahren Alle, die in jener Zeit diesem Kreise angehörten, der schönen dort verlebten Stunden. Einen besonderen Glanzpunkt bildete jedes Jahr der 29. December, der Geburtstag Poggendorff's, wo er alle seine Freunde und Bekannte um sich vereinte und der Frohsinn zur Feier des Tages seine schönsten Formen entfaltete; dem liebenswürdigen Wirth aber sah man die Herzensfreude recht an, welche er empfand so viele fröhliche Menschen um sich zu sehen.

Die alles ändernde Zeit griff indess immer sichtbarer auch in diese so lieb gewordenen Zustände ein; der Freundenkreis lichtete sich, einer nach dem andern schied aus

ihm und aus dieser Welt. Den schmerzlichsten Verlust aber erlitt Poggendorff, als ihm seine Gattin zu Anfang des Januar 1865 unvermutet durch einen leider zu frühen Tod entrissen wurde. Nicht nur die Familie, sondern auch die Vielen, welche in Freundschaft ihr zugehörten waren, gerieten dadurch in tiefe Trauer und nur sehr langsam hellte sich die trübe Stimmung wieder auf. Vor allem half der wohlthuende Einfluss glücklicher Familienverhältnisse über diese schwere Zeit hinweg und bewirkte, daß auch späterhin es dem Poggendorff'schen Hause nicht an heiteren Momenten fehlte. Ein Ereignis freudigster Art wurde das 1874 gefeierte Jubiläum Poggendorff's, welches Alle ihm mehr oder minder nahe stehenden zu warmer Theilnahme erregte, und ihm selbst seinen ganzen Lebensabend verschonte.

Im März 1874 wurden es 50 Jahre, daß Poggendorff die Annalen redigierte; seine Freunde und Verehrer verabredeten deshalb eine Jubelfeier zu veranstalten und setzten das Fest auf den 28. Februar des genannten Jahres an. Bereits am Morgen dieses Tages empfing der Gefeierte den Königl. Kronenorden 2. Klasse, ein Gratulationsschreiben Ihrer Maj. der Kaiserin Augusta, das Komthurkreuz des hessischen Philipps-Ordens und den italienischen Mauritius- und Lazarus-Orden, Deputationen der Akademie, der Universität, der physikalischen und der chemischen Gesellschaft brachten ihm die Glückwünsche dieser Körperschaften, und zahlreiche Telegramme auswärtiger Akademien, Universitäten, namhafter Gelehrten usw. bezeugten ihm ihre Theilnahme. Der Verleger der Annalen überreichte einen von vielen Mitarbeitern besorgten in Gold gedruckten Jubelband, welchem das Honorar von 500 Thalern in Form einer Thermosäule beigelegt war. Am Abend versammelten sich weit über 200 Festgenossen, von denen manche aus weiter Ferne herbeigekommen waren, zu einem gemeinsamen Mahl um den dazu eingeladenen Jubilar. In ernsten und heiteren Reden wurde seiner Verdienste gedacht, wofür er in seiner bescheidenen Weise mit herzlichen, die Hörer

aber tiefgreifenden Worten dankte und alle dadurch zum lautesten Jubelruf hinriss. Erst nach Mitternacht trennte sich die hoch befriedigte Gesellschaft und der 77jährige Jubilar war unter allen einer der letzten.

Die Erinnerung an diese Feier blieb für Poggendorff, so lange er lebte, eine wohlthuende und erhebende; sie spornete ihn sogar an nicht nur eifrig fort zu arbeiten, sondern selbst jede ihm gelegentlich angetragene Erleichterung abzulehnen. Er erfreute sich allerdings einer für sein Alter seltenen Rüstigkeit und Frische, in deren Vollgefühl er sich oft noch mit weit reichenden Plänen beschäftigte, an keine Schonung seiner Gesundheit dachte, von werkthätigen Personen, die älter waren als er, gern hörte und sie als ermutigende Vorbilder ansah. Zwar wurde er in den letzten Jahren einigemal von heftigen Krankheitsanfällen heimgesucht, gewöhnlich Folgen von Erkältung; aber er erholte sich jedesmal aus den gefährlichsten Zuständen und so schnell, daß das Vertrauen auf seine Lebenskraft bei ihm und seiner Umgebung dadurch nur neue Nahrung gewann. Indessen trat doch ein Fall ein, wo die Zuversicht auf Besserung bei ihm wieder die alte, der Ausgang jedoch ein anderer war. Es stellte sich anfangs April 1876 eine Neuralgie ein, die ihn neun Monate hindurch unaufhörlich mit Gesichtsschmerzen plagte und nur auf Stunden durch tägliche Morphiumeinspritzungen gelindert wurde. Ein Organ nach dem andern begann den Dienst zu versagen, nur seine Geisteskraft blieb ungebrochen; er arbeitete unter Schmerzen fort und sann selbst in den schlimmsten Stunden den Dingen nach, die er nach seiner, für ihn nicht zweifelhaften, Genesung auszuführen gedachte. Seit Neujahr 1877 aber verschlimmerte sich sein Zustand auffällig und dennoch ließ er sich, als er schon buchstäblich kein Glied mehr röhren konnte, alle Morgen noch an seinen Schreibtisch tragen um den Gang der Geschäfte zu verfolgen, für die er keinerlei Hilfe beanspruchte. Allein die Erinnerung wurde allmählich schwächer, erlosch dann ganz, es trat Bewußt-

losigkeit ein, und am Mittag des 24. Januar 1877 entschließt er sanft nach kurz zuvor vollendetem 80. Jahr. Vier Tage darauf wurde er unter dem Geleit seiner zahlreichen Freunde, Verehrer und Bekannten neben seiner ihm 12 Jahre vorangegangenen Gattin bestattet.

Poggendorff's Hingang fand nicht nur bei Allen, die ihm persönlich nahe getreten waren, eine innige Theilnahme, sondern wurde auch von denen als ein ernster Verlust betrachtet, die ihn nur aus seinem Wirken kannten; überall gab sich dasselbe Bedauern, das gleiche wohlwollende Urtheil über ihn kund; er hinterließ keinen Feind. Diese ausnahmslose Anerkennung ist um so werthvoller, da Poggendorff Alles, was er war und galt, nur sich selber zu verdanken hatte. Er hat nie um die Gunst der Menschen geworben, er hat sie aber besessen in reichem Maße durch seine Herzensgüte und die Biederkeit seines Charakters. Er hat nie nach Ansehn und Einfluß getraghtet, er gefiel sich allein in der stillen Arbeit des Forschers und Denkers, und hat Großes darin erzielt. Darum haben ihm die Mitlebenden Hochachtung und Liebe entgegengetragen, und die Nachwelt wird nicht aufhören, wo sie die Wissenschaften pflegt, von seinen Werken zu reden und seinem Namen ein ehrendes Andenken zu bewahren.

W. B.

---

## In h a l t

des Bandes CLX der Annalen der Physik und Chemie.

	Seite
Johann Christian Poggendorff . . . . .	V
Erstes Stück.	
I. Messungen über diamagnetelektrische Inductionsströme; von A. Toepler und A. Ettingshausen . . . . .	1
II. Ueber die Absorption der strahlenden Wärme durch Wasserdampf; von H. Haga . . . . .	31
III. Ueber die Abhängigkeit des galvanischen Leitungswiderstandes von der Stromstärke und die Edlund'sche Theorie der Diaphragmaströme; von E. Dorn . . . . .	56
IV. Ueber die Intensität des Fluorescenzlichts; von E. Lommel	75
V. Bemerkungen zu Maxwell's elektromagnetischer Lichttheorie; von J. Fröhlich . . . . .	97
VI. Neue Methode die Schmelzpunkte der Metalle, sowie auch anderer, die Wärme schlecht leitender Stoffe mit Genauigkeit zu bestimmen; von Himly . . . . .	102
VII. Ueber den elektrischen Widerstand von Flüssigkeiten unter hohem Druck; von H. Herwig . . . . .	110
VIII. Ein vollkommen luftfreies Barometer ohne Auskochen, schnell, leicht und billig herzustellen; von C. Bohn . . . . .	113

	Seite	
IX. Ueber Diffusion und die Frage, ob Glas für Gase undurchdringlich ist; von G. Quincke . . . . .	118	V.
X. Ueber das polarisierte Licht des Regenbogens; von J. Dechant	123	
XI. Ueber den Ardennit und über eine Methode zur Scheidung der Vanadinsäure von Thonerde und Eisenoxyd; von A. Bettendorff . . . . .	126	VI.
XII. Ueber die Zusammensetzung des Speiskobalts und verwandter Mineralien; von C. Rammelsberg . . . . .	131	VIII.
XIII. Ueber die Torricellische Leere; von J. Moser . . . . .	138	IX.
XIV. Versuche mit dem Radiometer; von F. Neesen . . . . .	143	
XV. Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper; von F. Zöllner . . . . .	154	X.
XVI. Ueber die Bestimmung der Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems; von E. Hoppe . . . . .	169	XI.
XVII. Ueber thermoelektrische Temperaturbestimmungen; von Rosenthal . . . . .	174	XII.
XVIII. Ueber die Natur der Gasmoleküle; von L. Boltzmann . . . . .	175	
XIX. Berichtigung und Erklärung; von Th. Hoh . . . . .	176	

(Geschlossen am 8. Februar 1877.)

### Zweites Stück.

I. Die Spectren der chemischen Verbindungen; von James Moser . . . . .	177
II. Untersuchungen über die Volumconstitution fester Körper; von H. Schröder . . . . .	199
III. Strom-Regulator für Gas; von Nicolae Teclu . . . . .	219
IV. Beitrag zu Boltzmann's Theorie der elastischen Nachwirkung; von F. Kohlrausch . . . . .	225

V.	Weitere Mittheilungen über den Zusammenhang zwischen der Viscosität und dem galvanischen Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten; von C. Grotian . . . . .	238
VI.	Ueber die Theorie der Resonatoren; von C. H. C. Grinwis	276
VII.	Ueber die Photographie der weniger brechbaren Theile des Sonnenspectrums; von H. W. Vogel . . . . .	292
VIII.	Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper; von F. Zöllner . . . . .	296
IX.	Neuer Beweis der Unrichtigkeit der Emissionstheorie des Lichts; von W. Feussner . . . . .	317
X.	Berichtigung zum Aufsatze über die elektromagnetischen Eigenschaften ungeschlossener Ströme; von N. Schiller . . .	333
XI.	Ueber Doppeleregung des Ebonit-Elektrophors; von S. C. Schlösser . . . . .	335
XII.	Notiz von W. Wernicke . . . . .	336

(Geschlossen am 9. März 1877.)

### Drittes Stück.

I.	Ueber die Cohäsion von Salzlösungen; von G. Quincke .	337
II.	Zur Theorie der stationären elektrischen Strömung in gekrümmten Flächen; von A. Töpler . . . . .	375
III.	Ueber normales Magnetisiren; von Th. Petruscheffsky .	388
IV.	Ueber die Temperatur im Leitungsdrähte eines galvanischen Stromes; von H. Streintz . . . . .	409
V.	Bemerkungen zu einem Ausspruche von F. Kohlrausch über Thermoelektricität; von R. Clausius . . . . .	420
VI.	Ueber den galvanischen Widerstand der Haloidverbindungen; von R. Lenz . . . . .	425

	Seite	VIII.
VII. Ueber die dynamische Bedeutung der in der mechanischen Wärmetheorie vorkommenden Größen; von C. Szily . . . . .	435	
VIII. Ueber ein Paradoxon der mechanischen Wärmetheorie; von A. Ritter . . . . .	454	IX.
IX. Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper; von F. Zöllner . . . . .	459	
X. Zum Zusammenhang zwischen Absorption und Dispersion; von E. Ketteler . . . . .	466	
XI. Ueber die neutralen Kämme der Holtz'schen Maschine; von P. Rieß . . . . .	486	
XII. Galvanische Tauchbatterie für Elemente mit zwei Flüssigkeiten; von A. Hertz . . . . .	496	
XIII. Erklärung . . . . .	496	

(Geschlossen am 14. April 1877.)

#### Viertes Stück.

I. Neue Versuche über die Ausdehnung von Körpern durch die Wärme; von P. Glatzel . . . . .	497
II. Ueber die Einwendungen von Clausius gegen das Weber'sche Gesetz; von F. Zöllner . . . . .	514
III. Ueber normales Magnetisiren; von Th. Petruscheffsky .	537
IV. Ueber Schichtung des elektrischen Lichts in Geissler'schen Röhren bei Einschaltung einer Flamme und einiger anderen Widerstände; von W. Holtz . . . . .	555
V. Ueber die Cohäsion von Salzlösungen; von G. Quincke .	560
VI. Ueber die Erregung von Elektricität durch gleitende Reibung; von P. Rieß . . . . .	588
VII. Ueber die unipolare Induction eines Solenoides; von F. Zöllner	604

Taf. I.  
S. 4.  
S. 175  
Taf. II.  
Fig. 8  
Taf. III.  
Taf. IV.  
Taf. V.  
Fig. 5  
Taf. VI.  
und 4  
Fig. 9,  
Taf. VII.  
Fig. 5,  
Taf. VII

VIII. Bemerkungen zu dem Aufsatze des Hrn. Prof. C. Neumann über die Anzahl der elektrischen Materien; von E. Edlund	617
IX. Zur Aufklärung über die „Bemerkungen“ des Hrn. Dr. Hugo Krüfs; von L. Hermann . . . . .	623

(Geschlossen am 8. Mai 1877.)

---

### Nachweis zu den Figurentafeln.

---

Taf. I. — Töpler und Ettingshausen, Fig. 1, S. 2; Fig. 2 und 3,  
S. 4. — Bohn, Fig. 4, S. 114. — Hoppe, Fig. 5, S. 170; Fig. 6,  
S. 172.

Taf. II. — Zöllner, Fig. 1, S. 156; Fig. 2 bis 6, S. 160; Fig. 7, S. 163;  
Fig. 8, S. 165; Fig. 9, S. 166; Fig. 10, S. 167.

Taf. III. — Himly, Fig. 1, S. 110. — Herwig, Fig. 2, S. 111.

Taf. IV. — Moser, Fig. 1 und 2, S. 188; Fig. 3, S. 193; Fig. 4, S. 194.

Taf. V. — Teclu, Fig. 1, S. 219; Fig. 2 und 3, S. 222; Fig. 4, S. 223;  
Fig. 5, S. 224.

Taf. VI. — Petruscheffsky, Fig. 1, S. 390; Fig. 2, S. 398; Fig. 3  
und 4, S. 394; Fig. 5 und 6, S. 407; Fig. 7, S. 403; Fig. 8, S. 538;  
Fig. 9, S. 545.

Taf. VII. — Zöllner, Fig. 1, S. 459; Fig. 2 und 3, S. 460; Fig. 4, S. 464;  
Fig. 5, S. 466.

Taf. VIII. — Zöllner, Fig. 1, S. 607; Fig. 2, S. 608.

---

### Berichtigungen.

---

#### Zum Aufsatz von Kohlrausch.

S. 231 in der Tabelle statt: *x* lies: *A*  
 S. 235 Z. 7 v. u. statt: bedarf lies: betraf  
 S. 236 Z. 13 u. 14 v. u. statt: 8469 lies: 8790  
 S. 237 u. 238 statt: 0,00467 lies stets: 0,00449

#### Zum Aufsatz von Grotian.

S. 239 Z. 12 v. u. ist einzuschalten das Wort „Phosphorsäure“

#### Zum Aufsatz von Vogel.

S. 292 Z. 6 v. u. statt: Cyanür lies: Cyanin.  
 S. 295 Z. 1 v. u. statt: Linien lies: Strahlen.  
 S. 296 Z. 10 v. o. ist nach dem Wort Platte einzuschalten: so stark

---

1877.

ANNALEN

N° 1.

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CLX.

---

I. *Messungen über diamagnetelektrische  
Inductionsströme;  
von A. Toepler und A. Ettingshausen in Graz.*

---

Vorbemerkung von Toepler.

Die durch diamagnetische Polarität hervorgebrachten elektrischen Inductionswirkungen sind wegen ihrer Kleinheit bisher experimentell wenig untersucht worden. W. Weber's vortreffliche Arbeit über Diamagnet-Elektricität (elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere über Diamagnetismus, S. 506), ist eigentlich die einzige, welche werthvolle Messungen auf diesem Gebiete aufweist. Faraday's Inductionsversuche waren nach seiner eigenen Meinung nicht frei von Einflüssen secundärer Art, außerdem waren seine galvanometrischen Hülfsmittel für den beabsichtigten Zweck nicht ausreichend.

Es scheint mir daher nicht überflüssig, an dieser Stelle eine Reihe von Messungen mitzutheilen, welche nach einer von der Weber'schen ganz verschiedenen Methode in meinem Laboratorium ausgeführt wurden. Bereits in einer vorläufigen Notiz (Anzeiger der k. Akad. zu Wien 1875, No. III und Bd. CLIV dieser Annalen) habe ich erwähnt, dass sich mit einem dem Dove'schen ähnlichen Differential-Inductor schon durch Anwendung schwacher Ketten die Inductionsströme nachweisen lassen, welche der entstehende und verschwindende Diamagnetismus des Wismuths in einer Spirale erzeugt. Dies erreichte ich durch ein Multiplicationsverfahren, indem ich die sehr schwachen Ströme des Differential-Inductors mittelst eines Quecksilber-

Commutators rasch wiederholte und gleich gerichtet zu einem feinen Galvanometer führte. Genaue Messungen nach dieser sehr empfindlichen Methode konnten damals nicht angestellt werden. Nach Vollendung des neuen physikalischen Institutes in Graz mit seinen für feine galvanometrische Arbeiten eingerichteten Räumlichkeiten habe ich indessen einen solchen Apparat in der unten (§ 1) beschriebenen Weise ausführen lassen. Wenn auch der Apparat in seiner vollständigen Zusammenstellung ziemlich complicirt erscheint, so beweist doch die für so schwierige Messungen sehr bemerkenswerthe Uebereinstimmung derselben seine Zuverlässigkeit. Ein grösseres Gewicht möchte ich indes auf den Umstand legen, daß die Vergleichung des Wismuth - Diamagnetismus mit dem durch gleiche Scheidekraft erregten Magnetismus des Eisens Zahlenresultate ergab, welche trotz der vollständigen Verschiedenheit der Beobachtungsmethode mit den von Weber bei seinen Inductionsversuchen gefundenen Zahlen so nahe übereinstimmen, als es bei der Messung so kleiner Größen nur erwartet werden kann. Die vorliegende Untersuchung dürfte also mit dazu beitragen, die Einwände zu widerlegen, welche ursprünglich gegen die Beweiskraft der Versuche jenes ausgezeichneten Beobachters erhoben worden sind. (Faraday, Exper. Res. XXIII; Feilitzsch, diese Ann. Bd. XCII und G. Karsten's Encyklopädie der Physik XIX. Bd.; S. 784.)

Die sorgfältigen Galvanometerbeobachtungen wurden fast ausschliesslich durch den Privatdocenten Dr. A. Ettingshausen ausgeführt; außerdem hat bei den Beobachtungen Herr J. Hammer, Assistent des physikalischen Institutes, in dankenswerther Weise mitgewirkt.

§ 1. *Beschreibung des Apparates.* Der Strom einer Kette  $K$  (Fig. 1, Taf. I) kann mittelst des Commutators  $C$  in die zwei grossen dickdrahtigen Magnetisirungsrollen  $R_1$ ,  $R_2$  (12 Lagen zu 123 Windungen), welche stets hintereinander eingeschaltet sind, geleitet werden; im Commutator  $C$  sind zunächst vier Quecksilberrinnen 1, 2, 3, 4,

welche durch eine rotirende Vorrichtung alternirend derart verbunden werden können, daß dadurch die Stromrichtung in den beiden Rollen umkehrt. Die Stärke des Hauptstromes wurde (bei absoluten Messungen) an einer Tangentenboussole  $T$  mit bekanntem Reductionsfactor, oder, falls es sich bloß um Stromvergleiche handelte, durch ein Spiegelgalvanometer  $g$ , welches in einer Zweigleitung eingeschaltet war, von  $o$  aus mit Fernrohr gemessen. In den Hauptspiralen liegen die Inductionsrollen  $r_1$ ,  $r_2$  (dünn-drahtig  $\frac{1}{2}$  Mm., jede aus 32 Lagen zu 214 Windungen bestehend); letztere Rollen sind ebenfalls hintereinander, aber so verbunden, daß die gleichzeitig in ihnen entstehenden Inductionsströme in der Leitung entgegengesetzte Richtung haben, gerade wie bei Dove's Differential-Inductor, so daß also in den Leitungsdrähten  $ll$ , welche zu einem äußerst feinen Spiegelgalvanometer  $G$  (über 3000 Windungen) führen, bei genau gleicher Beschaffenheit der beiden Inductionsvorrichtungen, keinerlei Wirkung, weder beim Oeffnen noch beim Schließen des Hauptstromes, in dem einen oder anderen Sinne beobachtet werden kann. Da diese beabsichtigte vollkommene Compensation der beiden Rollenpaare direct nicht hergestellt werden kann, so ist die eine Inductionsspirale  $r_2$  in der Höhlung ihrer Hauptspiralen mikrometrisch verschiebbar; auf diese Art wird versuchsweise die vollkommene Compensation der directen Inductionen zwischen den Rollen zu Stande gebracht. Ein in die weite Höhlung von  $r_1$  eingeschobener, magnetisch inducbarer Körper  $w$  gibt sodann beim Schließen und Oeffnen des Hauptstromes durch sein entstehendes und verschwindendes Moment auf  $r_1$  Inductionen, welche das Galvanometer  $G$  nunmehr anzeigt.

Das Hauptprincip des Apparates besteht nun darin, daß durch den sehr sorgfältig gebauten, mit constanter und genau messbarer Geschwindigkeit bewegten Quecksilbercommutator  $C$  eine regelmäßige Folge von Inductionsstößen erzeugt und, durch denselben Commutator  $C$  gleichgerichtet, zum Galvanometer  $G$  geführt wird. Letzteres

war stark astasirt (Schwingungsdauer je nach Bedürfniss 20 bis 30 Sec.), so dass bei den Versuchen eine genau ermittelte Zahl von Inductionsstössen (circa 100) auf eine Galvanometerschwingung kamen. Diese Stöße verschieben die Ruhelage wie ein constanter Strom, außerdem aber lässt sich die Wirkung noch ein zweites Mal durch einen Commutator *c* beim Beobachter am Fernrohr *F* nach dem bekannten Multiplicationsverfahren vergrößern, indem nämlich die Galvanometerleitung bei jeder Umkehr der Nadel schwingungen mittelst *c* umgelegt wird.

Die genauere Einrichtung des Quecksilbercommutators *C* ist aus den Fig. 2 u. 3, Taf. I zu ersehen; letztere stellt im Grundriss den Theil I für die Umlegung des Hauptstromes dar. Die Ziffern 1, 2, 3, 4 bedeuten, wie erwähnt, vier kleine Quecksilbertröge aus gefirnißtem Holz, über dieselben läuft eine Stahlaxe *AA*, auf welcher ins Quecksilber tauchende Scheiben und Sterne aus Kupfer befestigt sind. Die Einrichtung eines der Quecksilbertröge ist aus dem Verticalschnitt Fig. 2 zu ersehen; *u*, *u* sind hierbei Löcher zum Einführen der Zuleitungsdrähte ins Quecksilber; jeder Trog hat Ansätze *f*, *f* zum Festklemmen des Troges in beliebiger Stellung an einer unterhalb verlaufenden horizontalen Leiste *L*. Nun bedeuten in Fig. 3 *s* und *s'* am Rande amalgamirte Kupferscheiben, welche in die Tröge 1 resp. 4 tauchen; *2a*, *2b*, *3a*, *3b* sind dreizackige Kupfersterne mit amalgamirten Spitzen, deren Form aus Fig. 2 ersichtlich ist: sowohl Scheiben als Sterne sind durch Ebonitbüchsen von der Axe isolirt und können durch Klemmschrauben *t* auf der Axe festgeklemmt werden. Außerdem ist die Scheibe *s* (Fig. 3, Taf. I) durch den Spiraldraht *e* mit *2a*, durch *d* mit *3a* verbunden, desgleichen *s'* durch die Drähte *d'* resp. *e'* mit den Sternen *3b* resp. *2b*. Diese Spiraldrähte ermöglichen eine Winkelverstellung der genannten Bestandtheile gegen einander. Denkt man sich nun die Contactsterne *2a* und *3b* der Fig. 3 Taf. I) gleichgerichtet und zwar so gestellt, dass zwei correspondirende Speichen gerade in's Quecksilber

tauchen, so geht der Strom von  $K'$  über  $s' d' 3b$  und das Quecksilber in 3 nach  $R_1$ , durch die Hauptspiralen über  $R_2$  nach  $2a, e, s, K$ . Die Sterne  $2b$  und  $3a$ , der Fig. 3, welche ebenfalls unter einander gleichgerichtet sind, tauchen dabei nicht in's Quecksilber. Rotirt die Axe  $A$  im Sinne des Pfeiles (Fig. 2, Taf. I), so öffnet sich der vorbenannte Stromverlauf und schliesst sich in entgegengesetztem Sinne durch die Sterne  $3a$  und  $2b$  der Fig. 3, Taf. 3, indem nun von  $s'$  und  $s$  aus die Drähte  $e'$  resp.  $d$  vom Strome durchflossen werden; die Uebergangsstellung für die beiden Contactstern-Paare ( $2a, 3b$  und  $2b, 3a$ ) ist in Fig. 2, Taf. 1 gezeichnet, wobei der ausgezogene Stern dem ersten Paare entspricht. Hierbei wird also kurz hintereinander in den Hauptspiralen  $R_1$  und  $R_2$  Oeffnung des Hauptstromes und Schließung in entgegengesetztem Sinne bewirkt, d. h. Ummagnetisirung des Körpers  $w$  in der Spirelle  $r_1$ . Es ist ferner eine Contact-Combination ganz analoger Art in dem Theil II des Commutators für die Galvanometerleitung vorhanden, und indem in Fig. 2, Taf. 1 die Speiche  $2a$  das Quecksilber verlässt,  $2b$  in dasselbe eintaucht (desgleichen  $3a$  an die Stelle von  $3b$  tritt), befinden sich im Galvanometer-Commutator  $C$  II gerade zwei correspondirende Sternspeichen in der tiefsten Stellung  $z$  (Fig. 2, Taf. I) im Quecksilber, so daß die beiden durch den erwähnten Wechsel hervorgerufenen Inductionswirkungen, welche gleichgerichtet sind, denselben Weg zum Galvanometer finden. Sind in Fig. 2, Taf. I die Contactsterne um  $60^\circ$  gedreht, so folgen zwei den früheren entgegengesetzte Inductionsstöße, welche die entgegengesetzte Galvanometerleitung bei  $C$  II vorfinden; es werden also bei jeder Umdrehung des Commutators  $C$  zwölf gleichgerichtete Inductionsstöße zum Galvanometer  $G$  geführt, von denen jeder die Stärke eines Schließungs- oder Oeffnungsstoßes hat.

Es mag hier bemerkt werden, daß die Herstellung eines solchen Commutators sehr grosse Vorsicht erheischt, wenn mit demselben brauchbare Resultate erzielt wer-

den sollen. Die eingetauchten Kupfertheile müssen sehr vollkommen amalgamirt seyn, desgleichen muss die Quecksilberoberfläche möglichst rein erhalten werden, so dass beim Eintauchen der Sternspeichen sofort der Stromschluss vollkommen hergestellt ist<sup>1)</sup>). Dies hat bei geringen Rotationsgeschwindigkeiten keine Schwierigkeit, besonders bei dem Galvanometertheil CII; eine grosse Schwierigkeit ergab sich indes bei dem Theile CI für den Hauptstrom, indem die Funken der stärkeren Ketten (bis 10 Bunsen-Elemente) die Contactspeichen in kürzester Zeit verunreinigten. Der Nachtheil wurde indes dadurch vollkommen gehoben, dass die Ausbildung der Funken in der bekannten Weise durch eine Nebenschließung N (Fig. 1, Taf. I), welche *dauernd* mit den Enden der Hauptspirale verbunden blieb, gehindert wurde. Diese Nebenschließung bestand aus einem Neusilberdrahte von genau gemessenem Widerstande, welcher zur Erhaltung einer gleichmässigen Temperatur in verdünntem Alkohol lag; ohne diese Nebenschließung lassen sich Versuche mit stärkeren Strömen überhaupt nicht ausführen. Außerdem aber wurde die Quecksilberoberfläche in den Trögen für den Hauptstrom stets mit einer dünnen Schichte von destillirtem Wasser bedeckt. Durch die erwähnten Vorsichtsmasregeln gelingt es ein so gleichmässiges Fungiren der multiplicirenden Commutatorvorrichtung herzustellen, dass nun der dauernde Ausschlag, den ein in die Spirale  $r_1$  eingelegter Wismuth- oder Eisenstab hervorruft, bei constanter Rotationsgeschwindigkeit von C absolut constant bleibt; eine mangelhafte Beschaffenheit des Commutators verräth sich dagegen sofort durch unregelmässiges Hin- und Her-

1) Der beschriebene Commutator wurde vom Mechaniker Buschan in Graz angefertigt. Das Amalgamiren geschieht am Besten, indem man die Spitzen der Contactsterne längere Zeit durch das Quecksilber eines untergestellten Gefäßes laufen lässt, wobei die Quecksilberoberfläche mit einer mehrere Millimeter hohen Schicht von verdünnter Salpetersäure überdeckt wird; wenn das Quecksilber die Spitzen vollkommen benetzt, so werden sie mit destillirtem Wasser gut abgespült.

fahren des Galvanometers. War der Commutator einmal gut amalgamirt und richtig eingestellt, so fungirte derselbe stundenlang ohne jegliche Störung.

Endlich ist es zur Zurückführung der Messungen auf gleiches Maß durchaus nothwendig, die Rotationsgeschwindigkeit des Commutators möglichst constant erhalten, sowie genau messen zu können. Die Commutatoraxe *A* (Fig. 1) trug zu diesem Ende eine kleine Schnurscheibe *y*, welche mittelst einer Seidenschnur von dem bekannten selbstregulirenden Motor *H* nach Helmholtz getrieben wird. Zwischen *H* und *y* war noch ein Schwungrad *J* von etwa 5 Kilogramm Gewicht zur Ausgleichung kleiner Ungleichförmigkeiten des Motors eingeschaltet. Die genaue Zählung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Commutators geschah durch elektromagnetische Registrirung. An der Axe *A* war nämlich eine Metallgabel *h* angebracht, welche bei jeder Umdrehung einmal die Quecksilberäpfchen *nn* überbrückte und dadurch den Strom einer Hülfskette *k* schloß, welche auf dem Papierstreifen eines Morse-Schreibapparates *M* die einzelnen Rotationen aufzeichnete. Dieselbe Kette hat noch eine Nebenleitung *m* und *m'*, welche ein Secundenpendel *P* und einen Taster *S* enthält, mittelst dieser konnte der am Fernrohr *o* befindliche Hülfsbeobachter auf dem Papierstreifen Secundenmarken schreiben; auf diese Weise ist es leicht, die während einer bestimmten Zahl von Secunden stattfindenden Umdrehungen von *C* mit sehr erheblicher Genauigkeit zu bestimmen. Die Rotationsgeschwindigkeiten änderten sich während der Beobachtungen stets nur sehr wenig. Es ist selbstverständlich, daß die einzelnen Theile des beschriebenen Apparates mit Vorsicht in gehörigen Abständen derart vertheilt waren, daß störende Wechselwirkungen nicht eintraten, wovon wir uns durch besondere Versuche überzeugten; namentlich befand sich das sehr empfindliche Galvanometer *G* in einem entfernten Zimmer aufgestellt. Wie man sieht, erfordert der Apparat zwei Beobachter. Ferner ist es zu beachten, daß von den Hauptspiralen

$R_1$  und  $R_2$  selbst kleinere bewegliche Eisenmassen sorgfältig ferne gehalten werden müssen wegen der ungemein grossen Empfindlichkeit des Multiplicationsverfahrens. Als Beispiel sey nur erwähnt, daß ein haarfeines Stückchen Eisendraht von 1 Ctm. Länge und nur 0,0006 Grm. Gewicht, in die Spirale  $r_1$  gebracht, schon bei Anwendung eines einzigen Bunsen-Bechers und Multiplication bei  $c$  Grenzausschläge von etwa 25 Theilstrichen am Galvanometer  $G$  hervorrief, und daß bei stärkeren Ketten eine dem Ende von  $R_1$  genähere Taschenuhr bedeutende Ausschläge ergab.

Noch muß an dieser Stelle bemerkt werden, daß bei Multiplication mit dem Commutator  $c$  auch die in der Leitung von  $CII$  bis  $c$  vorhandenen Thermoströme zum Vorschein kommen. Zu deren Vermeidung waren die Leitungsdrähte des Galvanometers möglichst geschützt und außerdem der Commutator  $c$  (ebenfalls ein Quecksilbercommutator) durch Wasserumhüllung gegen Temperaturänderungen gewahrt, wonach die zu Anfang wahrgenommenen, sehr störenden thermischen Einflüsse thatsächlich verschwanden. Thermoströme in den Leitungen diesseits des Commutators  $CII$  (in den Spiralen u. s. w.) werden durch den Commutator selbst eliminiert, indem diese Thermoströme, welche bei ruhendem Commutator bemerkt werden, in rascher Folge ihre Richtung im Galvanometer wechseln. Die für die Messungen wichtigen Dimensionen des Apparates sind weiter unten bei den Beobachtungen selbst mitgetheilt.

§ 2. *Vorversuche über den Einfluß der bei dem Multiplicationsverfahren möglichen Fehlerquellen.* Bei den Messungen mit dem beschriebenen Apparate war zu besorgen, daß zu den bekannten und somit corrigirbaren Fehlerquellen gewöhnlicher galvanometrischer Untersuchungen noch neue in der Natur des Multiplicationsverfahrens selbst begründete Fehler hinzutreten könnten, und wir mußten daher durch einige Vorversuche über diesen Punkt Aufklärung suchen. Zunächst ist fraglich, ob die beobach-

teten Inductionsströme sich in den Spiralen in so kurzer Zeit entwickeln, daß jeder Inductionsstoß vollständig auf das Galvanometer zur Wirkung kommt. Bei unseren genauen Messungen betrug die Zeit einer Umdrehung des Commutators  $C$  nicht mehr als etwa 3 Secunden; nun war aus der Erläuterung an der Fig. 2 ersichtlich, daß je zwei gleichgerichtete Inductionsstöße (von den 12 einer Umdrehung) rasch hinter einander in den Augenblicken auftreten, wo die Contactspeichen des Galvanometer-Commutators sich in der tiefsten Lage  $z$  befinden. Die erregten Inductionsströme haben also zu ihrem Verlauf denjenigen Zeitraum, während dessen die Contactspeiche von der Stellung  $z$  aus noch ins Quecksilber taucht (beiläufig  $30^\circ$  Windkeldrehung), das ist aber ein Zeitraum von nahe  $\frac{1}{4}$  Secunde; derselbe Vorgang wiederholt sich nach je  $\frac{1}{8}$  Umdrehung des Commutators. Bei diesen geringen Rotationsgeschwindigkeiten ist es also nicht wahrscheinlich, daß die auftretenden Inductionsströme sich nicht vollständig in dem richtigen Sinne auf's Galvanometer übertragen. Dies haben wir jedoch auch durch directe Messungen constatirt. Findet ein vollständiges Ablaufen der Inductionsströme statt, so ist klar, daß bei geänderter Rotationsgeschwindigkeit des Commutators, wenn in der Spirale  $r_1$  ein inducirender Körper  $w$  vorhanden ist, die Galvanometerwirkung genau proportional der Rotationsgeschwindigkeit seyn muß, denn der dauernde Nadelausschlag, so lange dieser klein bleibt, ist bei einer raschen Folge gleich starker Inductionsstöße der auf eine Schwingung entfallenden Anzahl proportional. Dies findet bei den von uns benutzten Rotationsgeschwindigkeiten in der That mit erheblicher Genauigkeit statt. In  $r_1$  war ein Stückchen weichen Eisen-drahtes von 0,0648 Grm. Gewicht eingelegt, die Kette  $K$  bestand aus einem Daniell-Becher; es wurde die dauernde Veränderung der Ruhelage rechts und links, d. h. bei den beiden Stellungen des Commutators  $c$ , desgleichen jedesmal die Ruhelage des Galvanometers ohne eingelegtes Eisen vorher und nachher beobachtet. Die Stromstärke war wäh-

rend der Versuche constant. Zum Verständniß sey eine Beobachtungsreihe vollständig mitgetheilt:

Rotationsgeschw. des Commutators pro Minute.	Ruhelage		Ausschlag		
	rechts	links	rechts	links	Mittel
34,94	ohne Eisen	455,8	458,9		
	mit -	710,2	207,7	254,0	251,1
	ohne -	456,6	458,8	252,5	
26,34	ohne -	456,5	458,5		
	mit -	648,3	270,2	191,7	188,1
	ohne -	456,7	458,2	189,9	
19,27	ohne -	457,5	459,0		
	mit -	594,7	320,7	137,1	138,4
	ohne -	457,8	459,1	137,7	

Die Ruhelagen rechts und links sind nicht genau gleich wegen einer noch vorhandenen sehr geringen Abweichung von der vollständigen Compensation; diese Abweichung fällt wie man sieht aus dem Resultat heraus. Daher ergiebt sich:

Verhältniß der Geschwindigkeiten 100 : 75,4 : 55,1.

Verhältniß der Ausschläge 100 : 75,4 : 54,7.

Bei diesen Verhältniszahlen der Ausschläge ist bereits darauf Rücksicht genommen, daß die Ablesungen die Tangenten der doppelten Ausschlagwinkel liefern.

Eine Versuchsreihe mit zwei Daniell-Elementen und demselben Draht ergab für

Geschwindigkeit	Mittlerer Ausschlag
36,8	438,9
19,25	225,1

Verhältniß der Geschwindigkeiten 100 : 52,3.

Verhältniß der Ausschläge 100 : 51,9.

Diese Zahlen beweisen, daß innerhalb der Versuchsgrenzen Proportionalität der Ausschläge mit den Geschwindigkeiten herrscht. Bei großen Rotationsgeschwindigkeiten, wie sie aber bei den Messungen nie vorkamen, bleibt das Wachsen der Ausschläge hinter jenem der Geschwindigkeiten zurück, wie sich voraussehen ließ, da dann ein

Theil der Inductionsströme wegen des zeitlichen Verlaufs derselben wahrscheinlich nicht zur vollständigen Wirksamkeit gelangt. Ein Versuch mit zwei Daniell und demselben Draht ergab so bei den Geschwindigkeiten 23,8 und 54,1 die Ausschläge 158,1 und 332,1; die Verhältniszahlen für die Geschwindigkeiten und reducirten Ausschläge sind 1 : 2,273, resp. 1 : 2,083. Dafs übrigens bei Geschwindigkeiten von etwa 20 Rotationen in der Minute die Inductionsströme während der Thätigkeit des Commutators vollständig abgelaufen sind, beweist auch der Umstand, dafs man das Quecksilberniveau in den Trögen des Galvanometer-Commutators C II innerhalb weiter Grenzen ändern kann, ohne eine merkliche Aenderung des Ausschlages zu veranlassen. Das Quecksilberniveau der Tröge war bei normalen Verhältnissen so gestellt, dafs, wie schon erwähnt, jede Speiche im Quecksilber während ihres Eintauchens einen Winkel-Weg von beiläufig 60° durchlief. Nun wurde absichtlich das Niveau bedeutend erhöht, so dafs jede Speiche um merkliche Zeit früher ins Quecksilber trat, bevor die voraufgehende dasselbe verlassen hatte; bei einem dritten Versuch war das Niveau so weit erniedrigt, dafs die Speichenspitzen nur etwa auf 30° Drehung in's Quecksilber tauchten. Die drei Niveaus sind in Fig. 2, Taf. I durch die Linien  $q$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  dargestellt. Eine in der Spirale  $r_1$  liegende, kleine Eisenmasse veranlaßte in den drei Fällen dauernde Ausschläge von 447,5 (normales Quecksilberniveau), 446,5 (höchster), 443,5 (tiefster Stand); man sieht, dafs die Differenzen dieser Ausschläge gegen ihren Absolutwerth vollständig außer Acht zu lassen sind.

Eine andere wichtige Frage ist die, ob die in den inducirten Körpern bei  $w$  (Eisen oder Wismuth), außer der magnetischen Erregung entstehenden Inductionsströme nicht rückwärts, secundär, in  $r_1$  eine galvanometrische Wirkung hervorrufen können. Dieser Einwand ist bekanntlich gegen Weber's Messungen erhoben worden und auch Faraday<sup>1)</sup>

1) Exp. Res. Ser. XXIII, diese Ann. Bd. LXXXII.

hält diese Beobachtungen über diamagnetische Inductionsströme aus dem genannten Grunde nicht für beweisend.

Nun zeigen einige zu diesem Zwecke angestellte Versuche, daß solche secundäre Wirkungen keinen Einfluß auf unsere Galvanometermessungen hatten. Allerdings wird in einer Metallmasse  $w$  z. B. beim plötzlichen Schließen des Hauptstromes in  $R_1$  ein Schließungs-Inductionsstrom zu Stande kommen, welcher beim Entstehen einen entgegengesetzten, beim Verschwinden einen gleichgerichteten, secundären Strom in  $r_1$  erzeugen muß; diese beiden Ströme folgen sich jedoch sehr rasch und sind galvanometrisch gleichwertig. Ihre Wirkung wird daher ein sehr langsam schwingendes Galvanometer, dessen astatiches Magnetpaar ein bedeutendes Trägheitsmoment hat, nicht affizieren können, falls wir voraussetzen, daß die beiden secundären Wirkungen innerhalb sehr kurzer Zeit vollständig abgelaufen sind. Die Richtigkeit dieser Ueberlegung geht aus folgendem Versuch hervor. Es wurde in  $r_2$  eine dickdrahrtige, isolirte Kupferspirale — wir wollen sie Probespirale nennen — von circa 260 Windungen eingeschoben, die Enden derselben traten aus dem Apparate hervor, so daß diese Spirale während des Versuchs beliebig geöffnet oder geschlossen werden konnte. Es zeigte sich aber während des Ganges des Commutators  $C$  bei starker Kette  $K$  (6 Bunsen) *nicht die mindeste Änderung des Galvanometerstandes*, gleichgültig ob die Probespirale offen oder geschlossen war: im ersten Falle entstanden in ihr Inductionsströme, im letzteren nicht. Ein weiterer Versuch wurde mit einer stärkeren Probespirale von etwa 4000 Windungen angestellt, welche in  $r_1$  eingelegt war und deren Drahtenden wie oben hervorstanden. Die Kette  $K$  bestand aus 3 Bunsen-Elementen. Auch hier zeigte sich keine Spur einer Verschiebung der Ruhelage bei geöffneter oder geschlossener Spirale. Es waren die Galvanometerstände bei

offener	Spirale	456,7
geschlossener	-	456,5
offener	-	456,4 etc.

Sodann wurde zur Verstärkung der Inductionsströme in diese Probespirale ein dünner, weicher Eisendraht eingelegt; da letzterer die Compensation der beiden Rollensysteme störte, so wurde dieselbe neuerdings dadurch nahe wieder hergestellt, dass  $r_1$  ein Wenig aus der Mitte der Hauptspirale  $R_1$  herausgezogen wurde, wobei das Galvanometer bei laufendem Commutator beim Theilstriche 487 der Scala einspielte. War nun die Probespirale geschlossen, so entstanden in ihr kräftige Inductionsströme, welche nichts desto weniger durchaus keinen Einfluss auf den Stand des Galvanometers  $G$  hatten. Folgende sind die Rubelagen des Galvanometers bei abwechselndem längeren Schließen und Öffnen der Probespirale: offen ( $o$ ), geschlossen ( $g$ )

- $o) 487,3, \quad g) 487,3, \quad o) 487,4, \quad g) 486,6, \quad o) 487,5,$
- $g) 487,7, \quad o) 487,8$  etc.

Man ersieht aus diesen Versuchen, dass die durch die Eisenmasse bedingte Galvanometerwirkung ganz ungeändert blieb, mochten in der Probespirale die Inductionsströme zu Stande kommen oder nicht. Dass die bei geschlossener Probespirale in ihr entstehenden Ströme indeß tatsächlich Wirkungen in  $r_1$  (Inductionsströme zweiter Ordnung) hervorrufen, welche aber den galvanometrischen Totaleffekt Null haben, zeigte sich in folgender Erscheinung. War die Probespirale mit eingelegtem Eisendraht geschlossen, so machte das Galvanometer, *ohne seinen Stand zu ändern*, kleine, rasche Zuckungen von etwa 0,3 Scalentheilen hin und her, und zwar in demselben Rhythmus, in welchem die Contactspitzen des Commutators  $C$  eintauchten; diese Zuckungen verschwanden bei offener Spirale. Bei unserem Apparat und den bei den Messungen angewandten Geschwindigkeiten des Commutators  $C$  bewirken also die secundären Inductionströme keinen dauernden Ausschlag am Galvanometer. Einen weiteren Beleg hierfür ergaben auch die am Wismuth angestellten Messungen. Das Wismuth zeigte nämlich eine seiner diamagnetischen Polarität entsprechende Galvanometerwir-

kung, mochte dasselbe nun in compakter Masse oder in Form eines Bündels getrennter Stäbchen in die Höhlung des Inductors eingeschoben seyn, ja die Wirkung war in beiden Fällen den Gewichten so weit proportional, als man es bei zwei verschiedenen Wismuthmassen überhaupt nur erwarten kann.

Endlich spricht auch schon die gute Uebereinstimmung der später mitgetheilten Zahlenresultate mit den Weber-schen Messungen über den Diamagnetismus des Wismuths dafür, daß unsere Messungen auch von dem Einflusse secundärer Ströme frei sind. Bei Weber's Versuchen bewegte sich das Wismuth im homogenen Felde, es entstanden also keine secundären Inductionsströme. Noch sey an dieser Stelle erwähnt, daß ein in  $r_1$  eingelegter, massiver Kupfercylinder nicht einen der Wismuthpolarität entsprechenden, sondern einen entgegengesetzten, schwachen Galvanometerausschlag zeigte (was auf geringen Eisen gehalt schließen läßt). Hier zeigte sich auch jenes Zittern, jedoch nur um 0,1 Scalentheil, bei einem Wismuthstab war nie eine Spur davon zu bemerken<sup>1)</sup>.

Das im Vorhergegangenen geschilderte Verhalten des Inductionsapparates ist insofern bemerkenswerth, als Faraday<sup>2)</sup> mit seinen Hülfsmitteln vollkommen entgegengesetzte Erfahrungen machte. Faraday setzte auf den constant erregten Pol eines starken Elektromagnets eine Inductionsspirale und ließ in dieser die zu untersuchenden Körper gegen den Magnetpol oscilliren. Die inducirten Ströme wurden durch einen Commutator gleichgerichtet zu einem Galvanometer geführt. Faraday fand nicht die gesuchte diamagnetische Wirkung des Wismuths, wohl aber sehr merkliche Wirkungen der secundären Ströme, wenn die

- 1) Daß bei den Beobachtungen die sogenannte doppelseitige Ablenkung nicht auftreten konnte, ist einerseits aus der Kleinheit der Ausschläge, andererseits aus der Schwäche der secundären Wirkungen erklärlich.
- 2) Ueber den polaren oder sonstigen Zustand der diamagnetischen Körper (l. e.).

bewegten Massen gut leitende Metalle oder eine geschlossene Spirale (analog der obigen Hülffspirale) waren. Es ist kaum zu bezweifeln, daß dieses Ergebnis auf den Faraday'schen Commutator zurückzuführen ist, welcher mit Contactfedern arbeitete; ein solcher ist gewiß nicht zu empfehlen in den Fällen, wo eine Reihe von nach einander verlaufenden Inductionswirkungen sich galvanometrisch aufheben sollen. Da diese Ströme während der ganzen Bewegung entwickelt wurden, so mußten Unvollkommenheiten der Contactvorrichtungen sehr nachtheilig wirken. Aus Faraday's Angaben geht übrigens zur Genüge hervor, daß er keine constanten Stände der Nadel erzielt hat. Auch der oben beschriebene Quecksilber-Commutator, bei welchem die secundären Ströme nach jedem Inductionsstoß etwa  $\frac{1}{4}$  Sec. Zeit hatten sich auszugleichen, ist nur bei vollkommener Amalgamirung zu brauchen. Dr. Kleinér<sup>1)</sup> hat mit einem nach J. J. Müller's Idee gebauten Quecksilberinterruptor keine constanten Ausschläge erhalten können.

§ 3. *Proportionalität des diamagnetischen Moments des Wismuths mit der Scheidekraft.* Nach Weber's Theorie ist das electromagnetische Moment einer Wismuthmasse der elektromagnetischen Scheidekraft proportional und ist diese Proportionalität durch mehrfache Versuche bisher bestätigt (Becquerel, Tyndall, Reich u. A.); auch unsere Messungen liefern eine sehr befriedigende Bestätigung für die Richtigkeit dieser Annahme. Allerdings erstrecken sich dieselben nicht auf sehr hohe Scheidekräfte. In die Mitte der Rolle  $r_1$  wurde bei den folgenden Messungen ein cylindrischer Wismuthstab von 160<sup>mm</sup>. Länge, 27<sup>mm</sup> Dicke und 971.97 Gr. Gewicht eingelegt<sup>2)</sup>, eine Probe dieser Wismuthmasse, welche im hiesigen chemischen Laboratorium untersucht wurde, erwies sich als

1) Diese Ann. Bd. CLVI, S. 564.

2) Aus den Dimensionen der Hauptspiralen  $R_1$ ,  $R_2$  folgt, daß die elektromagnetische Scheidekraft über die ganze Stablänge bis auf 0,02 ihres Werthes constant ist.

eisenfrei. Zunächst gab unser Apparat schon so große dauernde Verschiebungen der Ruhelage, daß ohne Anwendung des Commutators *c* Messungen möglich waren. Die relativen Stärken des Hauptstromes wurden durch die Ablesungen am Galvanometer *g* mit Reduction auf die Tangenten der einfachen Ausschlagswinkel gefunden, wodurch zugleich das Verhältniß der Scheidekräfte in den Hauptspiralen gegeben ist. Die mittlere Rotationsgeschwindigkeit des Commutators *C* betrug 18,52 Umdrehungen pro Minute und änderte sich während der Dauer der Versuche, wie aus wiederholten Bestimmungen hervorging, um nicht mehr als  $\frac{1}{2}$  Proc. Es wurden die Verschiebungen der Ruhelage des Galvanometers *G* rechts und links (bei beiden Stellungen des Commutators *c*) genommen, und vor, sowie nach jeder Beobachtung stets die Ruhelage bestimmt. Folgende sind die Stromstärken, Ausschläge und deren Verhältniszahlen:

Zahl der Bunsen- becher	Galvano- meter- ausschläge <i>g</i>	Dauernder Ausschlag <i>G</i>		Verhältniss der Scheide- kräfte	Verhältniss der Ausschläge
		rechts	links		
2	214,5	14,8	13,9	100	100
4	164,0	11,6	11,8	77,6	81,5
6	112,4	7,7	7,8	53,7	54,0
8	57,4	4,1	4,1	27,7	28,6

Mit Rücksicht auf die Kleinheit der Ausschläge sind diese Zahlen schon sehr befriedigend; es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß die durch Wismuth veranlaßten Wirkungen stets den durch eine eingeschobene Eisenmasse verursachten entgegengesetzt gerichtet sind.

Bessere Uebereinstimmung war zu erwarten, wenn die Ausschläge durch Multiplication am Commutator *c* bis zur Erzielung eines constanten Gränzbogens vergrößert würden. Da man hier, wie bei der Multiplication eines schwachen constanten Stromes zu verfahren, d. h. am Ende jeder Schwingung umzulegen hat, so findet sich die dauernde

Verschiebung der Ruhelage  $E$  aus den beobachteten Gränzbogen  $x$  durch die Formel

$$E = \frac{x}{2} \frac{1 - e^{-\lambda}}{1 + e^{-\lambda}},$$

wo  $e^{\lambda} = k$  das constante Dämpfungsverhältniß<sup>1)</sup> der Galvanometerschwingungen bedeutet. Es ist also der beobachtete Gränzbogen bei constanter Geschwindigkeit des Commutators  $C$  einfach ein Maß für den entstehenden und verschwindenden Wismuth-Diamagnetismus. Von den wiederholt ausgeführten Versuchen sey nur eine Reihe mitgetheilt. Es wurden dabei, wie überhaupt beim Multipliciren mit  $c$ , die Spiralen  $r_1$ ,  $r_2$  nicht vollständig compensirt, so dass also schon durch den Compensationsrest ein Gränzbogen zu Stande kam. Dies geschah, weil die Compensation sich selbst mit der Stromstärke ändert. Die Stellung der Inductionsspiralen in den Hauptrollen ist nämlich für die Compensation ein so ungemein empfindlicher Factor, dass schon durch die Temperaturerhöhung bei längerer Wirkung des Hauptstromes kleine Relativverschiebungen entstehen, und sich die Compensation dadurch sehr merklich ändern kann. Daher wurden bei einer neuen Stromstärke die Messungen immer erst dann angestellt, wenn der durch den Compensationsrest verursachte Gränzbogen einen constanten Werth angenommen hatte: hiervon überzeugte man sich durch Beobachtungen vor und nach dem Einlegen des Wismuths.

Es wurde auf diese Weise erhalten:

- 1) Es sey hier gleich bemerkt, dass die Dämpfung bei laufendem Commutator  $C$  eine andere ist, als bei ruhendem, was natürlich berücksichtigt werden muss.

Zahl der Elemente	Ablesung $g$	Gränzbogen bei $G$	$\frac{a+c}{2} - b$
10 Bunsen	236,0	$a$ 191,1 $b$ 114,8 $c$ 188,4	74,9
6 .	157,0	$a$ 114,8 $b$ 63,0 $c$ 113,0	50,9
4 .	108,3	$a$ 106,0 $b$ 72,3 $c$ 107,5	34,4
2 .	55,6	$a$ 78,7 $b$ 61,1 $c$ 78,8	17,7

wobei  $a$  und  $c$  die Gränzbogen ohne Wismuth vorher und nachher,  $b$  den Gränzbogen bei eingelegtem Wismuth bedeuten. Da der Abstand der Scala vom Spiegel beim Galvanometer  $G$  1800 Scalentheile betrug, so ist es hinreichend genau, einfach die Differenzen der Gränzbogen, also  $\frac{a+c}{2} - b$  als das Maß für den Diamagnetismus des Wismuths zu nehmen; beim Galvanometer  $g$  jedoch war der Abstand von Scala und Spiegel 542 Scalentheile, daher müssen hier die Ablesungen auf die Tangenten der einfachen Winkel reduciert werden. Es ergiebt sich demnach

Verhältnis der Stromstärken (Scheidekräfte)	Verhältnis der Gränzbogen (Wismuth-Diamagnetismus)
100	100
68,3	68,0
47,1	45,9
24,2	23,6.

Die Abweichungen von der Proportionalität sind so klein, daß sie wohl in die Gränzen der Beobachtungsfehler fallen.

§ 4. *Vergleichung des Diamagnetismus von Wismuth mit dem Magnetismus des Eisens bei gegebener Scheidekraft.*  
Bekanntlich hat Weber aus seinen Inductionsversuchen das Verhältniß festgestellt, welches bei einer nach abso-

ludem Maß bestimmten elektromagnetischen Scheidekraft zwischen dem diamagnetischen Moment eines Wismuthstabes und dem Moment eines gleich langen, bis zur Sättigung magnetisirten Eisenstabes besteht. Es war nun leicht mit dem oben beschriebenen Apparate eine vergleichende Messung vorzunehmen; hierzu war nur erforderlich eine ebenfalls nach absolutem Maße bestimmte Scheidekraft in der Rolle  $R_1$  auf einen Wismuth- und Eisenstab wirken zu lassen, welch letzterer sich unter Einfluß der Scheidekraft ebenfalls ziemlich nahe dem Maximum seiner Magnetisirung befindet. Der Einfachheit halber wurde ein Eisenstäbchen verwendet, welches in seiner Beschaffenheit fast ganz genau mit dem von Weber benutzten übereinstimmte. Es war für

	Gr.	Mm.	Mm.
Weber's Stab:	Gewicht 0,79086, Länge 186, Dicke 0,8342,		
unseren Stab:	0,79005, 186, 0,8274.		

In Folge dieser Gleichheit der Eisenstäbe ist es erlaubt, Weber's Zahlen für die Reduction auf den in der Massen-Einheit des Eisens durch die Einheit der Kraft hervorgebrachten Magnetismus zu benutzen.

Zunächst überzeugten wir uns durch Versuche, daß dieser Eisenstab bei Anwendung einer Kette von 8 Bunsen-Bechern bereits sein Magnetisirungs-Maximum ziemlich nahe erreicht hatte, obgleich unsere Scheidekraft kleiner als die bei Weber's Inductionsversuchen war. Bei der Berechnung derjenigen in unserer Spirale ist zu berücksichtigen, daß die Nebenschließung  $N$  vorhanden ist; in absolutem Maß betrug die Scheidekraft mehr als 1000 (s. u.).

Vor Aufzählung der genauen Daten für die Rechnung sei angeführt, daß die Inductionsspiralen, um möglichst kleinen Widerstand zu haben, nur ungefähr so lang waren, wie die eingelegten Stäbe. Ist der Eisenstab in allen Theilen im Maximum magnetisirt, so ist sein Magnetismus mit dem des Wismuths aus den Galvanometerwirkungen vergleichbar, wenn beide Stäbe gleiche Länge und gleiche

Lage zu den Windungen der Inductionsspirale haben. Nun ist aber der obige Eisenstab etwas länger, so dass er um 5 Mm. beiderseits aus den Windungen von  $r_1$  hervorragt; dies hat indefs keinen messbaren Einfluss, weil der mittlere Durchmesser der Windungen (53 Mm.) so beträchtlich ist. Auch hierfür haben besonders angestellte Versuche den Beweis geliefert; die galvanometrische Wirkung des Eisenstabes änderte sich noch nicht um  $\frac{1}{2}$  Proc., jenachdem die Mitte desselben genau mit der Mitte der Spirale  $r_1$  zusammenfiel, oder um 5 Mm. nach der einen oder anderen Seite verschoben war. Auch hatte es keinen messbaren Einfluss, ob der Eisenstab sich genau in der Spira lenaxe befand, oder ob er an den inneren Windungen anlag.

Es folgen die wichtigsten Zahlenangaben über den Apparat.

Hauptspiralen  $R_1$ ,  $R_2$ :

Länge 420 Mm., äusserer Durchmesser 165 Mm., innerer Durchmesser 85 Mm.

Windungszahl 1476 bei jeder derselben.

Widerstand von  $R_1 = 2,01$  S.-E.

$R_2 = 1,98$  -

Nebenschließung  $N$ , Widerstand 10,29 S.-E.

Inductionsrollen  $r_1$ ,  $r_2$ :

Länge 175 Mm., äusserer Durchmesser 75 Mm., innerer Durchmesser 32 Mm.

Windungszahl 6848, Widerstand 77,5 S.-E. bei jeder derselben.

Wismuthstab wie oben:

Länge 160 Mm., Durchm. 27 Mm., Gewicht 971,97 Gr.

Es wurde nun für den Wismuthstab wie früher die Verschiebung der Ruhelage des Galvanometers  $G$  bei regelmässigem Gange des Commutators  $C$  für den Strom von 8 Bunsen-Elementen wiederholt gemessen; außerdem wurden auch durch Multiplication beim Commutator  $c$  die Gränzbogen bestimmt und aus diesen die Verschiebung der Ruhelage mit dem bekannten Decrement der Galvano-

meterschwingungen abgeleitet. Die Schwingungsdauer des Galvanometers betrug bei diesen Messungen 29,20 Seunden, das Dämpfungsverhältniss  $k$  bei rotirendem Commutator 1,874; es war wie schon bemerkt von dem Dämpfungsverhältniss bei ruhendem Commutator verschieden, jedoch bei ungeänderter Rotationsgeschwindigkeit constant. Daher ist der Gränzbogen der Galvanometerschwingungen mit der Zahl 0,15206 zu multipliciren, um den ihm entsprechenden dauernden Ausschlag zu liefern. Bei jeder Beobachtung wurde die Stromstärke in absolutem Maß an der Tangentenbussole  $T$  gemessen und darnach die Scheidekraft in den Spiralen  $R$  berechnet. Für Ausschläge von 46 bis 48°, welche mit 8 Bunsen-Elementen bei verschiedenen Versuchen beobachtet wurden, beträgt der Reductionsfactor der Tangentenbussole auf magnetisches Maß 41,370. Folgende waren die bei vier Beobachtungsreihen erhaltenen dauernden Ruhelageverschiebungen durch eingelegtes Wismuth und zwar bei Ablesungen, die an der Tangentenbussole  $T$  im Mittel 46,8° betrugen:

	Umdrehungszahl des Commutators pro Minute.
Direct beobachtete	14,2
Ausschläge	15,0
Aus Gränzbogen	13,7
abgeleitet	14,7

also ein mittlerer Ausschlag von 14,40 für eine mittlere Rotationsgeschwindigkeit 18,33. Die mittlere Stromstärke beträgt in absolutem magnetischen Maße 44,05, die Scheidekraft in den Spiralen berechnet sich also mit Rücksicht auf die Nebenschließung für diese Stromstärke zu

$$\frac{12 \times 123 \times 2\pi \times 44,05}{\sqrt{210^2 + 62,5^2}} \cdot \frac{10,3}{14,3} = 1343.$$

Bei dem eingelegten Eisenstabe war nun die galvanometrische Wirkung viel zu beträchtlich, um mittelst Multiplication beobachtet zu werden, vielmehr veranlaßte schon ein einmaliges Hineinlegen oder Herausziehen desselben aus  $r_1$  einen Ausschlag, der im Mittel 301,4 Scalenthieile

betrug und sich mit Rücksicht auf die Größe des Bogens für die weitere Rechnung auf 299,3 reducirt, um mit dem kleinen Ausschlage des Wismuths vergleichbar zu werden.

Es ist jetzt zu berechnen, welchen dauernden Ausschlag das Eisen geben würde, wenn statt eines einzigen Inductionsstosses durch den Magnetismus des Eisens deren so viele während einer Galvanometerschwingung ausgeübt würden, als es beim Wismuth tatsächlich der Fall war. Nennt man den oben gemessenen, durch Herausziehen des Eisens hervorgerufenen Ausschlag  $a$ , und  $A$  die dauernde Verschiebung der Ruhelage, welche entstehen würde, wenn während einer Galvanometerschwingung  $z$  Stöße dieser Art in gleichmässiger Vertheilung ausgeübt würden, so findet man den dauernden Ausschlag durch die Formel

$$A = \frac{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc} \tan \frac{\pi}{\lambda}}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} \cdot 1)$$

1) Bekanntlich ist die beschleunigende Kraft, welche die schwingende Galvanometernadel zur Ruhelage treibt, bei der Elongation  $A$  durch  $\frac{\pi^2}{T^2} \cdot A$  ausgedrückt, wo  $T$  die Schwingungsdauer des ungedämpften Galvanometers bedeutet. Kommen nun in der Zeit  $\tau$ , der Schwingungsdauer des gedämpften Galvanometers,  $z$  gleichgerichtete Stöße auf die Nadel, von denen jeder derselben die Geschwindigkeit  $C$  in ein und derselben Richtung ertheilen würde, wobei die Zwischenzeit  $\frac{\tau}{z}$  zwischen zwei Stößen gegen die Schwingungsdauer sehr klein ist, so ist für den Fall des Gleichgewichts

$$\frac{\pi^2}{T^2} \cdot A \frac{\tau}{z} = C.$$

Nun ist aber die Geschwindigkeit  $C$  ausgedrückt durch

$$C = a \frac{\pi}{T} e^{\frac{\pi}{\lambda}} \operatorname{arc} \tan \frac{\pi}{\lambda};$$

berücksichtigt man noch den bekannten Zusammenhang zwischen  $\tau$  und  $T$ , nämlich

$$\frac{\pi^2}{T^2} = \frac{\pi^2}{\tau^2} + \frac{\lambda^2}{\tau^2},$$

so ergiebt sich die obige Formel.

T.

wobei  $\lambda$  das Decrement der natürlichen Logarithmen der Galvanometerschwingungen (in unserem Falle  $\lambda = 0,62808$ )  $e$  die Basis der natürlichen Logarithmen bedeuten. Die Zahl  $z$  der Stöße auf eine Galvanometerschwingung, wie beim Wismuth, war

$$\frac{18,33 \times 29,3 \times 12}{60} = 107,05,$$

also ist

$$A = \frac{107,05 \times 299,3 \times 1,31597}{3,20376} = 13160,7.$$

Nun ist der Wismuthstab 1230,26 mal so schwer als der Eisenstab; ferner war der dauernde Ausschlag beim Wismuth 14,4, daher ist das *Verhältnis der auf gleiche Gewichte bezogenen* inducirenden Wirkungen von Wismuth und Eisen

$$\frac{14,4}{13160,7 \times 1230,26} = \frac{1}{1124380}.$$

Um dieses Verhältnis mit dem von Weber aus seinen Inductionsversuchen gefundenen zunächst angenähert zu vergleichen, ist noch das Verhältnis der Scheidekräfte zu berücksichtigen. Bei Weber war die Scheidekraft 3012 in absolutem Maß, bei unseren Versuchen hingegen nur 1343; wenn man auf Weber's Scheidekraft übergeht, so ist zu bedenken, dass das Eisen bei grösserer Scheidekraft sein Moment nur unerheblich, das Wismuth dagegen proportional der Scheidekraft ändert: es ist die obige Zahl also mit dem Quotienten  $\frac{3012}{1343}$  zu multipliciren, wodurch aus unseren Versuchen für Weber's Scheidekraft hervorgeht

$\frac{1}{501342}$ , während aus Weber's eigenen Beobachtungen

$\frac{1}{456700}$  folgt. Bedenkt man, dass diese an sich sehr kleinen Grössen nach zwei ganz *verschiedenen* Beobachtungsmethoden bestimmt wurden, so erscheint die Uebereinstimmung (bis auf 8,9 Proc.) als eine sehr bemerkenswerthe. Der Unterschied könnte schon durch kleine chemische Verunreinigungen der Wismuthmasse erklärt

werden; so fand ja Weber selbst bei zwei Wismuthmassen von fast gleichem Volum eine Verschiedenheit des Diamagnetismus im Verhältnis 1000 : 1266 (Maßbestimmungen S. 526). Uebrigens sey daran erinnert, dass die Scheidekraft in unseren weiten Spiralen nicht ganz constant, sondern an den Enden des Wismuthstabes etwa  $\frac{1}{50}$  zu klein war (§ 3 Bemerkung); würde dieser Umstand berücksichtigt, so ergäbe sich eine noch etwas grössere Annäherung beider Zahlen.

Im Vorhergehenden wurde angenommen, dass unser Stab bereits ebenso vollständig magnetisch gesättigt war, wie bei Weber's stärkerer Scheidekraft. Dies ist nun nicht genau richtig. Außerdem ist es wünschenswerth nach Weber's Vorgang den Eisenmagnetismus mit dem Wismuthdiamagnetismus für so schwache Scheidekräfte, bei denen auch ersterer der Scheidekraft proportional wächst, zu vergleichen. Diese Rechnung ist im Folgenden durchgeführt, wobei nur jene Angaben Weber's zum Vergleich benutzt werden, welche sich auf den bei seinen Inductionsversuchen benutzten Wismuthstab beziehen; denn bekanntlich hat Weber in seinen elektrodynamischen Maßbestimmungen die Rechnung mit dem Mittelwerthe durchgeführt, welcher aus der Zusammenstellung der diamagnetometrischen mit den Inductionsversuchen sich ergab.

Weber gibt für das magnetische Moment der Masseneinheit des Eiseng in dem Falle, dass alle Moleküle gleichgerichtet sind, die Zahl  $c = 2324,68$  an. Ferner folgt aus Weber's Theorie für einen Raum, in dem die Scheidekraft  $X$  herrscht, das magnetische Moment der Masseneinheit

$$y = c \left( 1 - \frac{1}{3} \frac{D^3}{X^3} \right),$$

wo  $D = 276,39$  (die molekulare Directionskraft) bedeutet; demnach findet sich für unsere Scheidekraft 1343 der Werth von  $y = 2286,7$ . Berücksichtigt man die Gestalt des Stabes, so folgt nach Neumann's Theorie für ein

Elliptische Seite

wo abhängt  
Stab benutzt  
kraft

worauf  
Mag  
Web  
 $m =$   
um n

menta  
für d  
herau  
sprech  
absolut

weil  
prop  
des I  
kraft  
wird,

S  
das

Ellipsoid das in der Masseneinheit hervorgerufene magnetische Moment  $m$  (siehe Weber, Maßbestimmungen, Seite 573)

$$m = \frac{y}{1 + 4\pi S \varrho \frac{y}{X}},$$

wo  $\varrho$  die Dichte des Eisens und  $S$  eine von der Gestalt abhängige Zahl bedeutet. Weber berechnet für seinen Stab  $S = \frac{1}{9747}$ , welcher Werth nun auch bei unserem Stabe benutzt ist; da ferner  $\varrho = 7,78$ , so folgt für unsere Scheidekraft

$$m = 2253,4,$$

woraus hervorgeht, daß unser Stab vom Maximum der Magnetisirung noch um etwa 3 Proc. entfernt war. Für Weber's Scheidekraft 3012 folgt  $y = 2323,2$  und  $m = 2305,4$ ; bei dieser Scheidekraft ist also der Stab nur um nahe 1 Proc. von der maximalen Magnetisirung entfernt.

Da sich für das Verhältniß des diamagnetischen Moments von Wismuth zum magnetischen Moment des Eisens für die oben erwähnte Scheidekraft 1343 die Zahl  $\frac{1}{1124380}$  herausstellte, so wird hiernach der dem Wismuth entsprechende Diamagnetismus für dieselbe Scheidekraft nach absolutem Maß seyn

$$\frac{1}{1124380} \times 2253,4 = \frac{1}{498,97};$$

weil aber der Wismuthdiamagnetismus der Scheidekraft proportional wächst, so ergiebt sich endlich für die Stärke des Diamagnetismus, der durch die Einheit der Scheidekraft in der Masseneinheit des Wismuths hervorgerufen wird, nach absolutem Maß der Werth

$$\frac{1}{498,97} \times \frac{1}{1343} = \frac{1}{670117}.$$

Schließlich kann man auch nach Weber's Theorie das magnetische Moment  $m$  der Masseneinheit des Eisens

für schwache Scheidekräfte und unendlich gestreckte Form nach der obigen Formel berechnen, wenn darin gesetzt wird

$$y = \frac{2}{3} c \frac{X}{D} \text{ und zwar so lange } X < D;$$

Hieraus folgt für die Scheidekraft  $X = 1$

$$m = 5,6074,$$

d. h. also für kleine Scheidekräfte und dünne Eisenstäbe, für welche der Eisenmagnetismus zum Wismuthdiamagnetismus nahe in einem constanten Verhältniß steht, ergiebt sich der Wismuthdiamagnetismus 3757600 mal kleiner als der Eisenmagnetismus.

Legt man die von Weber aus den Inductionsversuchen bei der Scheidekraft 3012 gefundene Verhältniszahl  $\frac{1}{456700}$ , welche also für das dort benutzte Wismuth gilt, derselben Rechnung zu Grunde, so findet man den Wismuthdiamagnetismus 3345800 mal kleiner als den Eisenmagnetismus. Die beiden Zahlen differiren um etwa 11 Proc. der grösseren, also mehr als früher, was daher kommt, daß die nicht vollständige Sättigung unseres Eisenstabes in Rechnung gezogen wurde.

Trotz obiger Differenz dürfte die gefundene Zahl für das von uns benutzte Wismuth die richtige seyn, weil directe Versuche bei schwachen Scheidekräften und im Verhältniß zur Dicke langen Stäben in der That dieselbe Zahl annähernd ergaben. Es wurde nämlich ein sehr feiner Eisendraht, welcher dieselbe Länge wie das Wismuth hatte, aber nur 0,0096 Grm. wog (also noch nicht  $\frac{1}{10}$  Mm. Durchmesser hatte), mit dem Wismuth verglichen, wobei die Wirkung des Wismuths durch Multiplication, die des Eisens aus den dauernden Ausschlägen gemessen wurde. Bei schwächeren Scheidekräften nahm das Verhältniß des Magnetismus zum Diamagnetismus zu; es betrug bei Anwendung von 4 Bunsen-Elementen 2537300, bei 2 Bunsen 3755200, jedoch wären die Messungen wegen der Kleinheit der Ausschläge natürlich unsicher.

§ 5. *Messungen mit fein vertheiltem Eisen.* Bekanntlich haben verschiedene Beobachter Eisen in äußerst fein vertheiltem Zustande mit einer neutralen Substanz (Fett oder Wachs) gleichmässig verrieben, als Vergleichsobject bei magnetischen und diamagnetischen Versuchen benutzt, da durch die feine Vertheilung die Wechselwirkung der Theilchen so weit verringert wird, daß eine solche Masse sich ähnlich wie ein schwach magnetischer Körper verhält, d. h. daß das Moment dem Volumen und der Scheidekraft sehr nahe proportional ist. Das bisherige Beobachtungsverfahren ist hinreichend genau, um das Verhalten solches Eisens mit Schärfe zu prüfen, wobei sich zeigte, daß das fein vertheilte Eisen bei starken Scheidekräften sich ähnlich verhält wie compactes bei schwachen; daß jedoch hierbei der Vertheilungsgrad von großem Einfluß ist. Zu diesem Zwecke wurde feinstes Eisenoxyd (aus oxalsaurem Eisenoxydul erhalten) durch mässiges Glühen in darüber geleitetem Wasserstoffgas reducirt und das so dargestellte Eisenpulver mit einer entsprechenden Menge von Fett gut verrieben in einer Eprouvette in die Spirale  $r_1$  gebracht. Im Folgenden sind Versuche mitgetheilt, welche mit zwei Eisenpulvern derselben Feinheit angestellt wurden, die jedoch in verschiedenem Verhältniß mit Fett verrieben waren. Das mit „Eisenpulver 1“ bezeichnete bestand aus 0,920 Grm. Eisen, das als „Eisenpulver 2“ aufgeführte aus 0,5644 Grm. Eisen auf je 35 Grm. Fett. Beide waren in Röhrchen gefüllt, die eine Länge von etwa 160 Mm. hatten.

Es zeigte sich, daß die magnetischen Momente dieser Eisenpulver bei wachsender Scheidekraft der Spiralen schneller als die Scheidekraft selbst wuchsen, daß dieselben dagegen zu einander stets nahe in einem bestimmten Verhältniß standen, welches aber durchaus nicht das Verhältniß der Eisenmengen ist.

Verhältnis der Stromstärken	Verhältnis der magnetischen Momente		Verh. $\frac{2}{1}$
	Eisenpulver 1)	Eisenpulver 2)	
1 Bunsen - El. 100	100	100	0,575
2 - - 192,5	188,1	189,7	579
3 - - 276,8	276,3	269,3	560
4 - - 353,7	358,8	353,7	567
6 - - 507,8	549,8	551,2	577
9 - - 679,4	732,7	724,5	566

Da die Geschwindigkeit von  $C$  zwischen 21,1 und 21,8 variierte, so sind die Zahlen für die mittlere Geschwindigkeit 21,5 umgerechnet. In der letzten Column ist das Verhältnis der wirklich beobachteten Ausschläge aufgeführt; die Mengen von Eisenpulver 2) und 1) verhielten sich wie  $\frac{5644}{9200} = 0,613$ , während das Verhältnis der magnetischen Momente (bei derselben Scheidekraft) im Mittel 0,571 beträgt. Es wächst also innerhalb der Versuchsgrenzen der Magnetismus etwas rascher als die Scheidekraft. Dem entsprechend wurde auch das Verhältnis zwischen der Galvanometerwirkung des in Fett vertheilten Eisens und des Wismuths ebenfalls nicht constant, sondern mit wachsender Scheidekraft zunehmend gefunden. Die direct, wie oben beim Eisenstäbchen, angestellten Vergleiche ergaben folgende Verhältniszahlen für das Eisenpulver 1) und den Wismuthstab; die Zahlen sind auf gleiche Gewichte bezogen:

Zahl der Elemente	Verhältniszahl
4 Bunsen	24920
6 - -	25350
10 - -	27270

Von welchem wesentlichen Einfluss auf das Resultat jedoch die Art der Darstellung des Eisenpulvers ist, mögen folgende Angaben darthun. Es wurde ebensolches Eisenpulver wie 1) hergestellt, aber bei der Reduction äußerst stark geglüht; die Menge, welche in Fett verrieben wurde, wog 0,942 Grm., also fast ebensoviel wie 1); es zeigt aber dieses Eisen einen Magnetismus, der etwa um die Hälfte mehr beträgt und der den Scheidekräften proportional geht.

Elementenzahl: 4     6     10 Bunsen

Verhältniss der Stromstärken: 100 : 142,4 : 207,7

Verhältniss der Magnetismen

schwach gebrühtes Eisen 1) 100 : 153,4 : 220,3

stark gebrühtes Eisen 100 : 143,6 : 206,4.

Die Verhältniszahlen für Wismuth, welche man mit letzterem Eisenpulver erhält, sind daher auch fast constant;

bei 4 Bunsen-Elementen 36860

- 6 - 35810

- 10 - 35740.

Die grosse Abweichung der von Plücker und E. Bequerel gefundenen Zahlen für den Diamagnetismus gleicher Gewichte von Wismuth und fein vertheiltem Eisen sind also wohl aus der ungleichen Vertheilung des Eisens zu erklären<sup>1)</sup>.

§ 6. *Einige andere Versuche.* Obgleich es nicht schwierig war mit dem beschriebenen Apparat die elektrische Induction durch einen so stark diamagnetischen Körper wie das Wismuth genau zu messen, so war der Apparat doch bei Weitem nicht empfindlich genug, um auch andere, schwächer diamagnetische Substanzen der Beobachtung zu unterziehen. Es sey hier nur erwähnt, daß ein in die Spirale  $r$ , eingeschobenes Glasrohr mit Schwefelkohlenstoff nur eine Aenderung des Gränzbogens um etwa 2 Scalentheile verursachte, als das Galvanometer auf 29,2 Sec. Schwingungsdauer astasirt war. Von Mes-

1) Vgl. Wiedemann, Galvanismus, 2. Aufl., 2. Bd. S. 687.

sungen so kleiner Wirkungen müste also abgesehen werden. Indes darf sich die Methode unter genügenden Vorsichtsmaßregeln eignen, um den Einfluß der Temperatur auf den Magnetismus zu studiren. Ein durch die Axe der Rolle  $r_1$  central geführtes Glasrohr mit einigen Wismuthstäbchen, welches durch schlechte Wärmeleiter von der Spirale isolirt war, zeigte eine Abnahme des Diamagnetismus, sobald durch das Rohr ein Wasserdampfstrom geführt wurde. Bei Messungen dieser Art müsten natürlich die Spiralen in vorsichtigster Weise gegen Temperaturänderungen geschützt werden.

Nach Kleiner (diese Annalen, Band CLVI) scheint J. J. Müller vermutet zu haben, daß die Anwesenheit elektrostatischer Ladung einen messbaren Einfluß ausübe auf die Stärke der magnetoelektrischen Induction. Einige derartige Beobachtungen wurden daher in folgender Weise angestellt.

1) In die Höhlung von  $r_1$  wurde eine langgestreckte, sehr gut isolirende Leydenerflasche gesteckt, so daß dieselbe durch einen Zuleitungsdräht stark geladen werden konnte; die äußere Belegung war gut zur Erde abgeleitet. Im Inneren der Flasche lag eine kleine Eisenmasse. Der dauernde Ausschlag durch das Eisen wurde wie oben bei laufendem Commutator  $C$  beobachtet, je nachdem die Flasche ungeladen, oder aber sehr stark (bis auf etwa 5 Ctm. Schlagweite) geladen war. In diesem Falle mußte die magnetoelektrische Wirkung zwei entgegengesetzt geladene Schichten durchdringen.

2) Es wurde aus zwei concentrischen Röhren, von denen die innere innen, die äußere außen belegt war, eine Flasche mit ringförmigem Hohlraum zwischen den Belegungen hergestellt. Dieser Hohlraum wurde entweder mit Eisenpulver in Fett angefüllt, oder es wurden einige Stücke feinen Eisendrahtes hineingelegt. Hier konnte man also die Induction durch nur eine elektrostatische Schicht hindurch wirken lassen.

In beiden Fällen wurde *keine Spur eines Unterschiedes* wahrgenommen, mochte die Flasche geladen seyn oder nicht, obgleich die Scheidekraft bis zur Anwendung von 9 Bunsen-Elementen gesteigert war.

---

## II. Ueber die Absorption der strahlenden Wärme durch Wasserdampf; von H. Haga.

(Vom Hrn. Verf. eingesandt. Auszug aus seiner Dissertation.  
Leiden, 28. Juni 1876.)

---

**§ 1.** Bekanntlich hat man die Gröſſe der Absorption der strahlenden Wärme durch Dämpfe nach zwei verschiedenen Methoden zu bestimmen versucht. Entweder stellte man zwischen der Wärmequelle und der Thermosäule eine Röhre, welche mit dem Dampfe gefüllt wurde, oder man ließ den Dampf in die freie Luft zwischen der Säule und der Quelle emporsteigen.

Bei den früheren Versuchen achtete man nicht auf den Durchmesser der Röhren und ein großer Theil der auf die Säule fallenden Wärme wurde an der inneren Oberfläche der Röhre reflectirt; dieser Theil war bei Röhren von Magnus<sup>1)</sup>), bei einigen von Tyndall sogar  $\frac{4}{5}$ <sup>2)</sup>.

Jede Ursache, welche dieses reflectirende Vermögen verändert, muss somit Einfluss ausüben auf die Wärme menge, die auf die Säule fällt.

Eine solche Ursache ist, wie Magnus<sup>3)</sup> gezeigt hat, das Füllen der Röhre mit einem Dampf, der sich an der inneren Oberfläche der Röhre niederschlägt.

Das grosse Absorptionsvermögen des Wasserdampfes,

1) Diese Annal. Bd. 130.

2) *Contributions to Molecular Physics in the domain of Radiant Heat*  
pag. 394.

3) Diese Annal. Bd. 130.

von Tyndall und Wild gefunden, wurde von Magnus dieser von ihm sogenannten Vaporhäsion zugeschrieben.

Da es aber möglich war, dass der Wasserdampf, wenngleich nicht so viel, dennoch eine merkbare Menge absorbierte, stellte Tyndall<sup>1)</sup> die Versuche so an, dass keine reflectirte Strahlen auf die Säule fallen konnten. Eine Röhre von 95 Ctm. Länge und 15 Ctm. Durchmesser wurde durch 2 Platten geschlossen, welche eine Oeffnung von 6,5 Ctm. hatten, in welche Steinsalzplatten angebracht wurden.

Zwischen die Wärmequelle und die Röhre wurde eine Linse von Steinsalz gestellt, welche ein schwach convergirendes Strahlenbündel durch die Röhre schickte; da die Salzplatten grösser waren als der Durchmesser des Strahlenbündels, fiel bei dieser Vorrichtung eine Wärme-menge auf die Säule ohne einen Theil der Röhrenwand berührt zu haben.

Die Ausstrahlung einer Wasserstoffflamme wurde angewandt, da Tyndall gefunden hatte, dass der Wasserdampf diese Strahlen mehr als andere absorbierte<sup>2)</sup>.

Das Resultat dieser Untersuchungen war, dass der Wasserdampf in einer Luftsäule von 90 Ctm. Länge 8 Proc. absorbierte. Ohne die Salzplatten war die Absorption 5 Proc. Ob dieser Unterschied einer etwaigen Absorption durch die Salzplatten, oder der geringeren Menge Wasserdampf in der offenen als in der verschlossenen Röhre zuzuschreiben ist, lässt sich nicht entscheiden.

Bei früheren Versuchen<sup>3)</sup> hatte Tyndall die Absorption des in der Luft sich befindenden Wasserdampfs bestimmt für die Wasserstoffflamme als Wärmequelle aber die reflectirten Strahlen nicht ausgeschlossen, und für dieselbe in einer Röhre von 120 Ctm. Länge den Werth 17 Procent gefunden, einige Tage später 20,3 Procent. Der Einfluss der Vaporhäsion wird hier offenbar: Wenn

1) *Contributions*. I. c.

2) *Phil. Mag.* 1864.

3) *Contributions* pag. 229 und 230.

der Wasserdampf in einer Säule Luft von 90 Ctm. Länge 8 Proc. absorbirt, indem die Luft gesättigt ist, würde er 10,5 Proc. in einer Säule von 120 Ctm. absorbiren; Tyndall fand indessen schon 17 bis 20 Proc. als die Luft noch nicht gesättigt war, so daß bei diesen Versuchen eine Verminderung der Wärmemenge von mehr als 10 Proc. der Vaporhäsion zuzuschreiben ist.

Magnus hatte bei seinen im Bande 118 dieser Annalen mitgetheilten Versuchen ein System Röhren vertical über einander gestellt; auf der oberen war die Wärmequelle, ein Glasgefäß mit siedendem Wasser gefüllt, aufgeschmolzen und die untere enthielt die Thermosäule.

Der Abstand der Oberfläche der Säule von der Wärmequelle betrug 90 Ctm. Mit dieser Vorrichtung fand Magnus einen Unterschied von ungefähr 1 Proc. zwischen der Absorption feuchter und trockner Luft.

Die Einwendungen, welche Tyndall<sup>1)</sup> gegen diese Untersuchungen gemacht hat, sind, soweit mir bekannt, nicht beseitigt.

Schon viel früher hatte Tyndall<sup>2)</sup>, ohne eine Versuchsröhre zu benutzen, einen Theil der freien Atmosphäre durch feuchtere oder trocknere Luft ersetzt und immer Ablenkungen der Magnetnadel erhalten, welche eine Absorption der Wärmestrahlen durch Wasserdampf anzeigen.

Magnus<sup>3)</sup> aber hatte ebenfalls diesen Versuch ange stellt und keine Absorption gefunden.

Dieser Widerspruch veranlaßte Dr. Hoorweg<sup>4)</sup> zu versuchen, in Bezug auf diesen Gegenstand mehr Sicherheit zu bekommen; aus seinen Versuchen folgt ein kleines Absorptionsvermögen des Wasserdampfes.

Da es mir aber schien, daß noch immer diesen Versuchen ein Vorwurf gemacht werden konnte, entschloß ich

1) *Contrib. pag. 156.*

2) *Contrib. pag. 136.*

3) Diese Annal. Bd. 130, S. 221.

4) Diese Annal. Bd. 155.

mich, sie zu wiederholen. Es war nämlich möglich, daß die feuchte und trockne Luft, dadurch daß diese wärmer, jene kälter war als die Atmosphäre, die beobachteten Ablenkungen verursachten. Zwar hatten Frankland<sup>1)</sup> und Wild<sup>2)</sup> gezeigt, daß dieses bei ihren Untersuchungen keinen Einfluß ausübte, doch konnte es hier von der Wirkung der Röhrenwände verdeckt werden, oder zufolge einer geringen Empfindlichkeit der Thermomultiplicatoren nicht beobachtet worden seyn.

§ 2. Die Thermosäule, mit welcher meine Versuche angestellt sind, ist von Rühmkorff verfertigt und besteht aus 30 Elementen, deren Enden eine Fläche bilden von 144 Quadratmillimeter; die konischen Reflectoren haben 12,2 Ctm. Höhe bei einer Oeffnung von 6,5 Ctm. Zur Messung der Intensität der Thermoströme benutzte ich einen Spiegelgalvanometer von Meyerstein (Abbildung in Wiedemann's Galvanismus II, S. 234). Eine in Millimeter getheilte Scala von Glas wurde in einer Entfernung von 5,5 Meter aufgestellt; ein über der Mitte der Scala befestigtes, mit Fadenkreuz versehenes Fernrohr diente zur Bestimmung der Ablenkungen. Der Magnet war anfangs an einem Bündel von 8 Coconfäden aufgehängt, da die Ablenkung aber nicht groß genug war, ersetzte ich, nach einigen Versuchen mit sehr dünnem Silberfaden, den ganzen Bündel durch einen der 8 Coconfäden; es war aber nothwendig, daß das zu tragende Gewicht weniger als 25 Grm. war, da einer der Fäden, mit diesem Gewichte belastet, schon in einem halben Tage zerreißt; der magnetisierte Stahlring wog 13,25 Grm.; der Bügel mit dem Spiegel 9,4 Grm.; die zwei Haken, auf welche man einen kleinen Magnet auflegen kann, wurden entfernt; ein anderer Stahlring von genau derselben Form, der aber die Hälfte dünner war, wurde verfertigt und statt des alten Stahlringes angebracht. Hierdurch war das durch den Coconfaden zu tragende Gewicht ungefähr 15 Grm.

1) *Philos. Mag. July 1863. Contrib. Mem. IV.*

2) Diese Annal. Bd. 129:

Zur Astasirung benutzte ich nur den stärkeren der zwei zum Galvanometer gehörenden Magnete.

Als ich einen Leslie'schen Würfel, der mit Lampenruss bedeckt war und gefüllt mit Wasser, das durch Einleitung von Dampf auf dem Siedepunkte erhalten wurde, in einer Entfernung von 140 Ctm. der Thermosäule gegenüber aufstellte, erhielt ich eine Ablenkung von mehr als 600 Scalentheile. Der Stahlring war aber so stark astastisirt, daß die kleinsten Änderungen der Richtung oder Intensität des Erdmagnetismus Bewegungen des Magneten zu Folge hatten und der Nullpunkt beinahe nicht zu bestimmen war.

Dadurch, daß man den Hülftsmagnet verschob, konnte man diesem eine solche Stellung geben, daß, bei keinen zu großen Störungen des Erdmagnetismus, der Magnet sehr empfindlich war und doch eine bestimmte Lage einnahm.

Beiderseits von der Thermosäule stellte ich hinter einander zwei Cylinder von Weißblech 18 Ctm. hoch, mit einem Durchmesser von 9,5 Ctm.; in einer Entfernung von 4 Ctm. über dem Boden war ein zweiter, mit zahllosen feinen Löchern versehener Boden angebracht. In der Seitenwand des Cylinders zwischen den beiden Böden war ein seitlicher Tubus so daß Luft durch diesen Tubus geblasen, durch die Löcher des zweiten Bodens emporstieg. Die zwei Cylinder an der einen Seite der Säule füllte ich mit Chlorcalcium, die an der anderen Seite mit gut gereinigten und mit destillirtem Wasser befeuchteten Kieselsteinchen. Wurde jetzt Luft durch die zwei mit Chlorcalcium gefüllten Cylinder geblasen, so zeigte die Ablenkung des Galvanometers Wärme an. Die aus den, mit feuchten Kieselsteinchen gefüllten, Cylindern emporsteigende Luft veranlaßte eine Ablenkung, welche Kälte der Luft anzeigen. Wurde sogleich Luft durch alle vier Cylinder geblasen, so wurde die Ablenkung natürlich größer.

Jeder Ablenkung folgte eine größere in der entgegengesetzten Richtung, welche ich erklärte aus der Condens-

sation des Wasserdampfes an der Oberfläche der Säule oder an der Innenwand des Reflectors falls feuchte Luft emporstieg, und aus der Verdampfung des auf jenen Oberflächen immer condensirten Wassers falls trockne Luft emporstieg: die feuchte und trockne Luft verbreiten sich ja allmälig.

Nachdem ich im Anfange December des vorigen Jahres diese Versuche angestellt hatte, bemerkte ich, daß diese zweite Ablenkung schon von Magnus beobachtet und erklärt worden war<sup>1)</sup>.

Ließ ich in ganz ähnlicher Weise wie Dr. Hoorweg gethan hat, die Luft aus den Cylindern durch die feinen Löcher des 1 Meter langen Troges emporsteigen, so wurden ebenfalls diese beiden Wirkungen beobachtet; die erste war nicht zu vernachlässigen in Bezug auf die von Dr. Hoorweg gefundene Absorption.

Um also die Gröfse der Absorption zu bestimmen, muß die Veränderung, welche der Luftstrom auf die, durch dieselbe auf die Säule geschickte, Wärmemenge verursacht, vermindert werden mit der Veränderung, durch jenen Luftstrom selbst ausgeübt. Der Unterschied ist absorbierte Wärme.

§ 3. Zu diesem Zwecke wurde die folgende Einrichtung getroffen.

Als Wärmequelle benutzte ich immer zwei Leslie'sche Würfel, deren Seiten 9 Ctm. lang waren, die ausstrahlende Wand war mit Lampenruß bedeckt und durch Einleitung von Dampf wurde das Wasser in den Würfeln auf dem Siedepunkte erhalten. Sie wurden in ungefähr gleicher Entfernung von der Säule gestellt; ein mittelst einer feinen Schraube bewegbarer Schirm wurde vor den näheren Würfel gestellt, so daß die Wärmemenge, die auf diese Seite der Säule fällt, so regulirt werden kann, daß sie genau die Wärme neutralisiert, die auf die andere Seite auffällt.

Um zu verhüten, daß Wärmestrahlen vom Siedeapparate

1) Diese Annalen Bd. 118 und 121.

oder von anderen Gegenständen als der ausstrahlenden Oberfläche auf die Säule fielen, wurden grosse Schirme (*A*) senkrecht zur Längsrichtung der Säule nahe bei den Würfeln gestellt. Diese Schirme bestanden aus einem hölzernen Gerippe, beiderseits mit starker Pappe bedeckt, während auf der zur Säule gekehrten Seite matt schwarzes Papier geklebt war. Zwei ähnliche Schirme (*B*) waren der Längsrichtung parallel gestellt.

Den Würfeln gegenüber waren in den Schirmen Oeffnungen gemacht von eben denselben Dimensionen wie die Seitenwand des Würfels.

Vor diesen Oeffnungen und sie ganz bedeckend waren viereckige Schirmchen, jedes an einer dünnen Schnur aufgehängt, welche über kupferne Hækchen nach der Stelle lief wo mein Fernrohr sich befand. Mittelst der Schnur wurde das an ihr befestigte Schirmchen hinaufgezogen, so dass Wärme vom Würfel auf die Säule fallen konnte.

Der Raum, der gewöhnlich durch die Schirme eingeschlossen wurde, war 160 Ctm. lang und 135 Ctm. breit; oben waren keine Schirme und unten war in einer Breite von 110 Ctm. der Tisch.

In der Mitte dieses Raumes war die Thermosäule gestellt, deren Längsrichtung ungefähr von Ost gen West lief; die Axe der Säule war 29 Ctm. über dem Tisch; beiderseits der Säule standen in einer Entfernung von 24 Ctm. von den Enden der konischen Reflectoren, zwei Cylinder. Die östlichen Cylinder waren mit gereinigten und nachher mit destillirtem Wasser befeuchteten Kieselsteinchen gefüllt; die westlichen mit Stückchen Chlorcalcium. Ein grosser Windkasten wie er gewöhnlich bei akustischen Versuchen benutzt wird, hinter einem der Schirme *B* gestellt, diente um Luft durch die Cylinder zu blasen.

Die von der Ostseite auf die Säule fallende Wärme verursachte zunehmende Ablesungen auf der Scala. Ablenkungen in dieser Richtung werde ich, mittelst des Zei-

chens + von jenen, in entgegengesetzter Richtung, welche mit — versehen sind, unterscheiden.

§ 4. Wurde Luft durch die Cylinder geblasen, so fehlte die zweite Wirkung, welche ich die secundäre nennen werde, nie, selbst nicht bei obengenannten Abständen der Cylinder von der Säule. Da diese secundäre Wirkung dadurch verursacht wird, daß der emporsteigende Luftstrom sich allmälig ausbreitet und an die Säule oder die Innenfläche des Reflectors anlangt, muß bei der Zunahme jenes Abstandes das Zeitintervall zwischen der ersten und secundären Wirkung größer werden, da die erste Wirkung auf Strahlung beruht. Dem war auch so, und das Größerwerden des Intervalles ist zugleich ein Beweis, daß die erste Wirkung der Ausstrahlung zuzuschreiben ist.

Dieses Zeitintervall war aber nie groß genug um die constante Ablenkung des, durch die erste Wirkung verursachten, Stromes zu bestimmen.

Es verdiente demnach den Vorzug nur den ersten Ausschlag zu beobachten. So kurz die Zeitspanne dieses ersten Ausschlages war, so waren doch für dieselbe die Änderungen des Erdmagnetismus und der wechselnde Einfluß der Zimmerwände zuweilen so störend, daß nicht beobachtet werden konnte; es wurden nur Beobachtungen gemacht, wenn diese Störungen möglichst klein waren. Ist der Magnet abgelenkt, so dauerte es oft 5 bis 10 Minuten bis sie wieder völlig zur Ruhe kam und es fand sich alsdann der Nullpunkt oft um einige Scalentheile verlegt; es wurde daher immer der Nullpunkt vor der Beobachtung genommen.

Aus dem ersten Ausschlage  $x_1$  kann man die constante Ruhelage  $p$  bestimmen; dies ist aber nicht nothwendig, denn wir haben<sup>1)</sup>

$$p = \frac{x_1}{1 + e^{-\lambda}},$$

1) Wiedemann II, S. 244.

wo  $e$  die Basis der natürlichen Logarithmen und  $\lambda$  das logarithmische Decrement bezeichnet.

Nun ist  $\lambda$  nur abhängig von der Gröfse der Richtkraft und der Dämpfung; diese ist gleich einer constanten Gröfse bei einem Galvanometer mit demselben Schließungskreise, und jene ist der Unterschied zwischen der Richtkraft durch die horizontale Componente des Erdmagnetismus und der, durch den Hülftsmagnet ausgeführt.

Während jeder Versuchsreihe darf man diesen Unterschied als constant betrachten, da der Hülftsmagnet immer in derselben Lage blieb und die Beobachtungen unmöglich waren, wenn die Intensität und magnetische Declination viel veränderten.

Bestimmen wir also statt der constanten Ablenkung, durch die totale Ausstrahlung, d. h. die durch jeden der Würfel ausgestrahlte Wärmemenge, verursacht, den ersten Ausschlag, so wird das Verhältnis dieser ersten Ausschläge dem der constanten gleich seyn.

Dieses ist aber nur so weit richtig, als wir die Thermoströme, auch im Anfange, als constante Ströme betrachten können, da die obenerwähnte Formel nur in diesem Falle gültig ist. Die Zunahme der Temperatur aber, welche die Löthstellen zufolge der strahlenden Wärme der Würfel in der Entfernung wo sie gestellt waren, erhalten, wird sehr gering seyn; es wird innerhalb sehr kurzer Zeit das Maximum der Temperatur erreicht, und wieder verloren werden, wenn ein Schirm zwischen die Säule und der Wärmequelle gestellt wird.

Um jedoch mittelst Versuche zu bestimmen, ob man obengenannter Methode folgen dürfte, bestimmte ich das Verhältnis zwischen den ersten und constanten Ablenkungen bei Thermosträumen von sehr verschiedener Intensität, und sah daß jenes Verhältnis immer dasselbe war.

Die ersten Ausschläge der totalen Ausstrahlung waren gewöhnlich sehr groß, oft würden sie die Gränzen der Scala überschritten haben; deshalb wurde bei diesen Messungen eine Nebenschließung eingeschaltet.

Bezeichnen wir mit  $w$  den Widerstand der Thermosäule mit den zu den Quecksilbernäpfen führenden Fäden, in welchen Näpfen ebenfalls die zum Galvanometer führenden Fäden und der Widerstand eingetaucht wurden; mit  $w_1$  den Widerstand des eingeschalteten Leiters und mit  $w_2$  den der Windungen des Galvanometers, nebst den zu den Quecksilbernäpfen führenden Fäden; weiter die Intensität des Stromes wenn der Widerstand nicht eingeschaltet ist,  $i$ , und wenn dies der Fall ist in dem Leiter, dessen Widerstand  $w:J$ ; im eingeschalteten Widerstände  $i_1$  und in dem Leiter dessen Widerstand  $w_2 : i_2$ , so ist den Gesetzen Ohm's und Kirchhoff's zufolge, mit  $E$  die elektromotorische Kraft der Thermosäule bezeichnend:

$$i = \frac{E}{w + w_2}$$

$$J - i_1 - i_2 = 0$$

$$Jw + i_2 w_2 = E$$

$$i_1 w_1 - i_2 w_2 = 0,$$

wodurch  $i$  aus  $i_2$  berechnet werden kann:

$$i = \frac{(w_1 + w_2) w + w_1 w_2}{(w + w_2) w_1} i_2 = A i_2.$$

Also ist  $A$  eine Größe, nur vom Widerstände abhängig, nicht von der Intensität des Stromes; zur Bestimmung von  $A$  können wir solch eine Wärmemenge auf die Säule schicken, daß der erste Ausschlag die Gränzen nicht überschreitet, dann schalten wir den Widerstand ein und bestimmen wieder den ersten Ausschlag.

Durch diese Einschaltung wird aber der Theil der Dämpfung geändert, welcher durch die Windungen verursacht wird; diese Änderung kann aber vernachlässigt werden in Bezug auf den constanten, durch die Kupferhülse verursachten Theile, da wie ich gesehen habe, das Verhältniß der ersten Ausschläge desselben Stromes mit und ohne Widerstand dasselbe war, als das der constanten Ablenkungen; und da die constanten Ablenkungen

den Intensitäten der Thermoströme proportional sind, so wird das Verhältnis der ersten Ausschläge  $A$  geben.

Also fand ich am 1. März:

Erster Ausschlag:

mit Widerstand	75
ohne	- 393
mit	- 75
ohne	- 393
mit	- 75,

welches für  $A$  den Werth 5,24 giebt.

Zuweilen erhielt ich kleine Unterschiede, in welchen Fällen das Mittel der Ablenkungen genommen wurde.

Zehn solcher Reihen habe ich an fünf verschiedenen Tagen angestellt bei sehr verschiedener Intensität. Die Resultate sind hier zusammengestellt:

Erster Ausschlag		$A$
mit Widerstand	ohne Widerstand	
75	393	5,24
65	321	5,31
66	344	5,21
76,7	407,5	5,31
57,2	299	5,23
47,3	252,5	5,34
65,3	343	5,24
74	382,5	5,17
15,5	81	5,23
135,3	702,3	5,19

Das Mittel ist 5,25 mit einem mittleren Fehler von weniger als 0,02.

§ 5. Die Versuche über die Absorption wurden immer

Abends angestellt, nachdem das Zimmer nöthigenfalls geheizt worden war.

Mit der oben beschriebenen Einrichtung stellte ich am 3. März folgende Versuche an:

I. Die kleinen Schirmchen vor den Oeffnungen, also *ohne Wärmequelle*, durch alle 4 Cylinder Luft geblasen. Ablenkungen:

— 7  
— 10,5  
— 6,5.

II. Schirmchen hinaufgezogen; die Wärme der beiden Würfel compensirt. Luft geblasen.

Ablenkungen .

-- 13  
— 11.

III. Widerstand eingeschaltet; nach einander das Schirmchen vor jeder der Wärmequellen.

Mittel der Ablenkungen:

108

Widerstand entfernt.

IV. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 13  
— 13.

V. Schirmchen vor den Oeffnungen. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 10  
— 10  
— 9,5  
— 8,5  
— 7,5  
— 6.

VI. Schirmchen hinaufgezogen; Wärme von beiden Seiten compensirt. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 11  
— 14,5.

VII. Wie III. Mittel der Ablenkungen:

112

Widerstand entfernt.

VIII. Luft geblasen. Ablenkungen:

— 11,5  
— 11,5.

IX. Schirmchen vor den Oeffnungen. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 7  
— 8.

Die Temperatur war  $20^{\circ}$  C.

Diese Versuche zusammenstellend:

### A b l e n k u n g

ohne Wärmequelle:	mit Wärmequelle:
7	13
10	11
6,5	13
10	13
10	11
9,5	14,5
8,5	11,5
7,5	11,5
6	
7	
8	
8,2	12,3.

Die totale Strahlung ist  $110 \times 5,25$  also 580. Die Differenz von 12,3 und 8,2 ist der Absorption zuzuschreiben durch eine 19 Ctm. lange Säule Wasserdampf der bei  $20^{\circ}$  C. in der Luft existiren kann auf die durch die

**Würfel ausgestrahlten Wärmestrahlen nachdem diese eine Säule Luft durchsetzt haben.**

Wir erhalten somit für diese Absorption den Werth 0,71 Proc. Der mittlere Fehler von 8,2 ist 0,45, von 12,3 0,50; die Summe der Quadrate dieser Fehler dividiert durch 5,8 giebt 0,11 und dieses ist also der mittlere Fehler der Grösse der Absorption in Procenten.

In ganz ähnlicher Weise habe ich noch an fünf Abenden Versuche angestellt; nur dann und wann eine Beobachtung mehr gemacht.

Bei den 3 letzten Versuchen habe ich die Cylinder mit Chlorcalcium an die Ostseite, die mit befeuchteten Kieselsteinchen an die Westseite gestellt: die Ablenkungen erhielten also das entgegengesetzte Zeichen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche:

Länge 19 Ctm.

Datum und Temperatur	ohne Wärmequelle			mit Wärmequelle			totale Strahlung	Absorption		
	n	Ablenkung	mittl. Fehler	n	Ablenkung	mittl. Fehler		total	in Pro- zenten	mittl. Fehler
3. März 20° C.	11	— 8,2	0,45	8	— 12,3	0,50	580	4,1	0,71	0,11
8. März 18° C.	10	— 4,75	0,32	10	— 7,8	0,55	640	3,05	0,48	0,11
9. März 19° C.	12	— 10,2	0,64	11	— 14,5	0,63	620	4,3	0,69	0,15
18. März 16°,5 C.	10	+ 4,2	0,44	10	+ 8,75	0,54	680	4,55	0,67	0,10
20. März 18°,5 C.	12	+ 9,9	0,39	12	+ 13,3	0,58	660	3,4	0,52	0,10
21. März 18° C.	12	+ 7,9	0,60	12	+ 12,6	0,68	640	4,7	0,73	0,15

Für die Absorption erhalten wir somit, die verschieden Gewichte in Rechnung ziehend, den Werth 0,61 Proc. mit einem mittleren Fehler 0,05.

§ 6. Hätte man nur die Ablenkungen „mit Wärmequelle“ beobachtet, so würde die Absorption durch diese Säule von 19 Ctm. grösser seyn als die von Dr. Hoorweg einer von 25 Ctm. zugeschriebene. Wie mir scheint, ist die Ursache die folgende:

Bei den ersten Versuchen stellte Dr. Hoorweg beiderseits der Säule einen Cylinder, so dass die Länge des aufsteigenden Luftstromes an jeder Seite 9,5 Ctm. betrug; bei der Verlängerung des Luftstromes zu 25 Ctm. blieben die Cylinder resp. mit Chlorcalcium und benetzten Kieselsteinchen gefüllt, wurden aber von oben mit einem passenden Korke verschlossen, durch welchen eine gläserne Röhre ging, welche mittelst Kautschukröhren mit dem seitlichen Tubus der Tröge von 25 Ctm. verbunden war. Dr. Hoorweg hat die Güte gehabt mir mitzutheilen, dass er die Menge Chlorcalcium und Kieselsteinchen vermehrte bei jeder Verlängerung des Luftstromes; aber dennoch ist es sehr schwer zu sagen ob der Sättigungsgrad derselbe blieb; hat man, wie es doch sollte, beim ersten Versuche die Menge Chlorcalcium und Kieselsteinchen so gross gewählt, dass die Luft vollkommen trocken, resp. feucht aus den Cylindern emporstieg, so hat es keinen Nutzen die obengenannte Menge zu vermehren beim zweiten Versuche.

Es schien mir wünschenswerth zu untersuchen: wie verändert die Absorption, wenn die Menge Wasserdampf, die sich in einem  $a$  Ctm. langen Raume befindet, sich ausbreitet in einem übrigens gleichen  $na$  Ctm. langen Raume.

Nennen wir das Verhältniss der Wärmemenge, welche durch eine Schicht Wasserdampf von der Dicke 1 Ctm. gegangen ist und der, welche auf diese Schicht fiel im ersten Falle  $x$ , im zweiten  $y$ , so ist die den Wasserdampf verlassende Wärmemenge im ersten Falle  $Mx$ , im zweiten  $My$ ; wenn wir mit  $M$  die Wärmemenge bezeichnen, welche auf die erste Schicht fällt. In einer Schicht von

der Dicke 1 Ctm. befinden sich im ersten Falle  $n$  Mal mehr Theilchen Wasserdampf als im zweiten; setzen wir nun voraus, daß auch im ersten Falle die Absorption die  $n$ -fache ist, so ist

$$1 - x = n(1 - y);$$

nennen wir  $1 - x = A$ , so erhalten wir für das Verhältnis der in beiden Fällen durchgelassenen Wärmemengen:

$$\frac{My^n}{Mx^n} = \frac{\left(1 - \frac{A}{n}\right)^n}{(1 - A)^n} = 1 + \frac{n-1}{2} \cdot \frac{A^n}{n} + \text{u. s. w.}$$

Da wir die Absorption der Menge Dampftheilchen proportional setzen, so können die höhern Potenzen vernachlässigt werden und alle Glieder mit  $A$  verschwinden.

Dieses gilt also für diejenigen Gase bei welchen in einer Dicke von 1 Ctm. die Absorption dem Drucke proportional gesetzt werden darf. Tyndall hat aber gefunden, daß in einer größeren Dicke diese Proportionalität bei Kohlensäure bis zum Drucke von 80 Mm. richtig ist; Wasserdampf absorbiert weniger als Kohlensäure und der Druck beträgt bei 20° C. 17,4 Mm., bei 30° C. 31,6 Mm.; wir dürfen somit für Wasserdampf wenigstens bis 30° C. obengenannte Proportionalität annehmen und die in beiden obenerwähnten Fällen absorbierte Wärmemenge muß also dieselbe seyn.

Um dieses einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen, stellte ich an jeder Seite der Säule einen Trog, ähnlich den von Dr. Hoorweg benutzten, 50 Ctm. lang, jeder von zwei seitlichen Tuben versehen. Die Cylinder, wie bei den vorigen Versuchen gefüllt, wurden mit Korken verschlossen durch welche eine gläserne Röhre ging. Jeder der seitlichen Tuben der Tröge wurde mittelst Kautschukröhren verbunden mit den gläsernen Röhren, so daß die Luft, nachdem sie durch die Cylinder gegangen war, einerseits eine Säule feuchter, andererseits eine Säule trockner Luft, 50 Ctm. lang bildete.

Selbstverständlich müssen, weil dieselbe Menge Luft als bei den vorigen Versuchen durch dieselben Cylinder geht, die aufgenommene Menge Wasserdampf einer — und die abgegebene andererseits ebenfalls dieselbe geblieben seyn; die Absorption muß somit dieselbe seyn als bei den vorigen Versuchen.

Der Abstand der Würfel von der Thermosäule musste aber vergrößert werden; die totale Ausstrahlung wurde kleiner und der Einfluß der Beobachtungsfehler größer. Die Tröge wurden in einer Entfernung von 23 Ctm. von den Enden der Reflectoren und von den Schirmen aufgestellt, der östliche Trog war mit dem mit Chlorcalcium gefüllten Cylinder verbunden, der westliche mit dem mit befeuchteten Kieselsteinchen gefüllten. Die Versuche wurden in ganz ähnlicher Weise wie die vorigen angestellt.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate.

Datum und Temperatur	ohne Wärmequelle			mit Wärmequelle			totale Strahlung	Absorption		
	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler		totale Strahlung	in Pro- zenten	mittl. Fehler
27. März 17°,5 C.	10	+ 3,9	0,53	10	+ 5,65	0,56	390	1,75	0,45	0,19
28. April 17°	11	+ 2,75	0,56	10	+ 4,55	0,33	400	1,8	0,45	0,19

Wie man sieht, liegt der Unterschied zwischen dem Werthe der Absorption bei diesen Versuchen und bei den vorigen innerhalb der Beobachtungsfehler. Ich glaube durch diese zwei Beobachtungen die Sache hinlänglich experimentell erwiesen zu haben; deshalb habe ich diese Versuche nicht wiederholt, um so mehr, weil die Abende, während welcher der Magnet ruhig war, sehr wenige waren und ich diese zu weiteren Versuchen benutzen wollte.

Wünscht man also den Einfluß der Vermehrung der Länge auf den Werth der Absorption zu bestimmen, so

muss der Sättigungsgrad derselbe bleiben. Bei den Versuchen von Dr. Hoorweg war dieses der Fall mit der Verlängerung von 25 bis 50 und bis 100 Ctm.; aber beim Uebergange von 9 bis 25 Ctm. ist dieses, wie ich meine, nicht hinlänglich berücksichtigt, so dass nur beim ersten Versuche die Luft einerseits vollkommen feucht, andererseits vollkommen trocken gewesen seyn kann.

Wie oben erwähnt wurde, hat auch Magnus ein Experiment in der freien Luft angestellt, aber keine Absorption dem Wasserdampfe zugeschrieben. Magnus beschreibt diesen Versuch folgendermassen<sup>1)</sup>: „Vier enge Messingröhren von 8 Mn. Durchmesser und 66 Ctm. Länge lagen in Abständen von 12 Mm. horizontal ueben einander. Jede derselben enthielt 40 feine Löcher in einer Reihe 12 Mm. von einander entfernt. Das eine Ende dieser Röhren war geschlossen, am anderen waren alle vier durch eine Querröhre verbunden, die mit dem Blasebalg in Verbindung stand. Da die feinen Löcher dieser Röhren alle nach oben gewendet waren, so erhielt man beim Einblasen eine Anzahl feiner, von unten nach oben gerichteten Luftströme. Dieses Röhrensystem wurde zwischen der Säule und dem Würfel so angebracht, dass die Wärmestrahlen nur durch jene Luftströme zur Säule gelangen konnten.“

Ich habe diesen Versuch in derselben Weise wiederholt; statt Messingröhren habe ich Röhren von Weißblech angewandt, aber von genau denselben Dimensionen, und statt der einen Querröhre verband ich je zwei durch eine Y-förmige Röhre. Jede dieser Röhren war mittelst Kautschukröhren mit einem mit Chlorecalcium gefüllten Cylinder verbunden. Wurde jetzt Luft durch die Cylinder geblasen, so erhielt ich eine Ablenkung von 2 à 3 Mm.; während die der totalen Strahlung 400 war.

Die Luft im Zimmer war sehr feucht, so dass ich beim Emporsteigen vollkommen feuchter Luft keine Ablenkung erhielt.

Man kann sich nicht wundern, dass diese kleine Ab-

1) Diese Annal. Bd. 130, S. 221.

Ver-  
it der  
beim  
neine,  
ersten  
derer-  
  
n Ex-  
sorbs-  
schreibt  
ssing-  
lagen  
ander.  
Reihe  
dieser  
durch  
n Ver-  
n alle  
blasen  
Luft-  
Säule  
rahlen  
nten.“  
wieder-  
sich an-  
d statt  
n eine  
Kaut-  
Cylin-  
der ge-  
3 Mm.;  
  
n beim  
enkung  
ne Ab-

lenkung Magnus entgangen ist, dem doch nicht solch ein empfindlicher Thermomultiplikator zu Gebote stand. Die aus allen jenen feinen Löchern emporsteigende trockne Luft, welche sich in ziemlich grosser Entfernung von einander befanden, war aber bei weitem nicht im Stande die Luft durch vollkommen trockne zu ersetzen.

§ 7. Um die Absorption durch eine gröfsere Säule Wasserdampf zu bestimmen, stellte ich beiderseits der Thermosäule 3 Cylinder hinter einander; die Länge war 29 Ctm. Die Cylinder an der einen Seite wurden wieder mit Chlorcalcium, die an der anderen Seite mit, durch destillirtes Wasser befeuchteten, Kieselsteinchen gefüllt. Der Abstand des ersten Cylinders von den Enden des Reflectors war 19,5 Ctm.

Die Versuche wurden in ganz ähnlicher Weise gemacht wie die ersten und die Bemerkung in Bezug auf das Vorzeichen ist auch hier gültig.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Länge 29 Centimeter.

Datum und Temperatur	ohne Wärmequelle			mit Wärmequelle			totale Strahlungs- stärke	Absorption		
	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler		totale	in Pro- zenten	mittl. Fehler
4. Mai 16° C.	9	-6,3	0,44	9	-11,45	0,70	635	5,15	0,81	0,14
8. Mai 16°,5 C.	10	-6,25	0,57	10	-11,95	0,54	655	5,7	0,87	0,12
9. Mai 17° C.	10	-6,35	0,67	10	-12,65	0,74	625	6,3	1,01	0,16
11. Mai 17°,5 C.	13	+7,8	0,80	12	+12,85	0,85	630	5,05	0,80	0,19
16. Mai 17°,5 C.	10	+6,25	0,63	11	+11,6	0,43	625	5,35	0,86	0,12
1. Juni 17°,5 C.	12	+6,8	0,75	12	+12,0	0,75	645	5,2	0,80	0,16

Wir erhalten somit für die Absorption ausgeübt durch den Wasserdampf, der in einer 29 Ctm. langen Säule Luft bei 17° C. bestehen kann, den Werth 0,86 Proc. mit einem mittleren Fehler von 0,06 Proc. Berechnen wir wie viel der Wasserdampf in einer 19 Ctm. langen Säule absorbiren würde, so erhalten wir 0,57 m. F. 0,04, während sie oben durch Versuche zu 0,61 m. F. 0,05 bestimmt wurde.

Diese Uebereinstimmung zeigt, daß jene 0,61 und 0,86 Proc. in der That der Absorption zuzuschreiben sind, und nicht etwa einem Wärmeverlust durch Reflexion am feuchten oder trocknen Luftstrom<sup>1)</sup>. Ich wage es nicht zu behaupten, daß die Luft über den Cylindern einerseits vollkommen trocken, andererseits mit Wasserdampf gesättigt ist, da der Luftstrom sich mischen wird mit der atmosphärischen Luft; diese wird aber bald durch den fort dauernden Strom ersetzt werden; die Länge der Säule Luft habe ich der Summe der Diameter der Cylinder gleich gesetzt; der durch die Wärmestrahlen wirklich durchlaufene Weg ist aber wahrscheinlich etwas länger durch die seitliche Ausbreitung des Luftstroms; so daß dieses die erstgenannte Ungenauigkeit wenigstens zum Theil compensiren wird.

Deshalb glaube ich, daß 0,61 und 0,86 Proc. für die Werthe der Absorption durch den Wasserdampf, der in einer 19 resp. 29 Ctm. langen Säule Luft bei 17 bis 18° C. bestehen kann, in Bezug auf die durch den geschwärzten Leslie'schen Würfel bis 100° erwärmt, ausgestrahlte Wärme, nachdem dieselbe eine Strecke Luft durchsetzt hat, nicht weit von der Wahrheit entfernt seyn kann.

Für den Werth der Absorption durch eine 1 Meter lange Säule finden wir 3,1 Proc. m. F. 0,17, während 10 Proc. absorbirt werden durch eine ungefähr 3,3 Meter lange Säule gesättigten Wasserdampfes bei 17 bis 18° C.; vorausgesetzt daß alle Strahlen gleichmäßig absorbirt werden.

1) Diese Ann. Bd. 129.

durch  
Luft  
einem  
e viel  
bsor-  
hrend  
immt  
  
und  
sind,  
n am  
nicht  
erseits  
gesät-  
er at-  
n fort-  
Säule  
ylinder  
irklich  
länger  
o daß  
s zum  
  
für die  
der in  
18° C.  
würzten  
strahlte  
chsetzt  
nn.  
Meter  
ährend  
Meter  
18° C.,  
osorbirt

§. 8. Eine Frage müssen wir noch untersuchen: Welche ist die Ursache der ersten Wirkung der trocknen und feuchten Luft?

Dafs sie der Ausstrahlung zuzuschreiben ist, habe ich schon nachgewiesen; aber welcher ist der ausstrahlende Körper?

Die Cylinder können die Ursache nicht seyn, da die Wirkung sich ebenfalls zeigte, bei den Versuchen §. 6 beschrieben; bei diesen Versuchen kann man schwerlich behaupten, dafs mechanisch mitgeföhrte Tröpfchen Wasser oder Theilchen Chlorcalcium die Ursache sind, da die aus den Cylindern tretende Luft einen ziemlich langen Weg durch die Kautschuk-Röhre zurücklegen mußte; außerdem ist die Wirkung viel zu constant um sie solchen mehr zufälligen Umständen zuzuschreiben und der Luftstrom hatte bei weitem nicht eine solche Geschwindigkeit, dafs dieses Mitführen wahrscheinlich wird. Bei diesen Versuchen könnte die Erwärmung resp. Abkühlung der oberen Seite des Troges die Ursache seyn; da es schwer war dieses zu prüfen, habe ich noch bei der Vorrichtung, § 3 mitgetheilt, folgende Versuche angestellt.

Was hier ausstrahlen könnte war:

- 1) Die Außenseite der, der Säule am nächsten stehenden, Cylinder.
- 2) Der obere Theil der inneren Seite der Cylinder.
- 3) Kieselsteinchen oder Stückchen Chlorcalcium, die ein wenig zu hoch waren.
- 4) Der Luftstrom.

Ich stellte Schirme vor die Cylinder, bedeckte den oberen Theil der inneren Seite mit matt schwarzem Papier, nahm so viel Kieselsteinchen und Chlorcalcium aus den Cylindern heraus, dafs diese Körper keine Strahlen auf die Säule schicken konnten und dennoch blieb die Ablenkung der ersten Wirkung dieselbe; also kann nur der Luftstrom selbst die Ursache seyn<sup>1</sup>).

1) Diese Versuche stellte ich ebenfalls an mit Alkohol (weiter unten); auch hier blieben die Ablenkungen dieselben.

Bei der feuchten Luft kann der Wasserdampf der ausstrahlende Körper seyn, bei der trocknen aber Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und etwaige Unreinigkeiten; welcher von diesen lasse ich unentschieden.

§. 9. In §. 1 habe ich Tyndall's letzte Versuche in Bezug auf diesen Gegenstand erwähnt. Als keine Steinsalzplatten benutzt wurden, fand Tyndall für die Absorption den Werth 5 Proc.; bei diesen Versuchen aber musst fortwährend trockne oder feuchte Luft durch die Röhre geblasen werden, und ist es deshalb möglich, dass ein Theil dieser 5 Proc. statt der Absorption dem Luftstrome zuzuschreiben ist.

Der Einfluss dieses Luftstromes kann aber wieder neutralisiert werden durch die Erwärmung und Abkühlung in Folge der Condensation oder Verdampfung von Wasser an der inneren Oberfläche der Röhre. Tyndall erwähnt aber nicht, ob er ohne Wärmequelle zu benutzen die Ablenkung beobachtet hat, welche das Durchblasen feuchter und trockner Luft verursacht.

§ 10. Jetzt lag es sehr nahe zu untersuchen ob auch andere Flüssigkeiten beim Uebergange im Dampfe so viel Wärme verbrauchen, dass die Luft oder der Dampf dadurch abgekühlten einen merkbaren Einfluss auf die Säule ausübt.

Einen Cylinder, mit von gewöhnlichem Alkohol getränkten Kieselsteinchen gefüllt, stellte ich in einer Entfernung von 20 Ctm. von der Oeffnung der Säule; wurde Luft durch den Cylinder geblasen, so erhielt ich eine Ablenkung von 39 Mm. (Mittel aus 10 Beobachtungen), welche die Abkühlung des Luftstromes zeigte; ließ ich die Wärme der beiden Leslie'schen Würfel auf die Säule fallen, so verursachte der Luftstrom aus dem Cylinder eine Ablenkung von 106 Mm. (Mittel aus 10 Beobachtungen); die totale Strahlung war 625 Mm.

Höchst wahrscheinlich wird dieses nicht nur bei Wasser und Alkohol der Fall seyn, sondern auch bei den übrigen Flüssigkeiten und die Versuche über die Absorption durch

Dämpfe, bei welchen diese Wirkung Einfluß hat ausüben können, müssen also wiederholt werden.

Mit reinem Alkohol habe ich noch folgende Versuche angestellt.

Der Alkohol war von 98 bis 99 Proc., und hatte nur einen schwachen Geruch.

Die Wirkung der emporsteigenden Säule und die Absorption verursachten sehr grosse Ablenkungen; es war deshalb nicht mehr nothwendig den Magnet in solch einer empfindlichen Lage zu halten, als ich bei den Versuchen mit dem Wasserdampfe brauchte; den Hülfsmagnet senkte ich 8 Mm., wodurch die Wärme eines Leslie'schen Würfels statt einer Ablenkung von 660 Mm. eine von 390 verursachte. Mit dieser Anordnung habe ich die folgenden Experimente ausgeführt.

Die Abstände der Schirme, Würfel und Säule von einander waren wie §. 3 angegeben ist. Erstens wurde ein Cylinder mit von Alkohol getränkten Kieselsteinchen so gefüllt, daß diese keine Strahlen auf die Säule schicken konnten; der Cylinder wurde an die Ostseite der Säule gestellt, in einer Entfernung von der Oeffnung des Reflectors von 23 Cent.; ein Schirm von starker Pappe, eben so hoch als der Cylinder wurde vor diesem aufgestellt.

Jedesmal als viermal Luft durch den Cylinder geblasen war, wurden die Kieselsteinchen wiederum von Alkohol getränkt; dies erwies sich genügend, um der Verdampfung das Gleichgewicht zu halten.

Die Folge der Versuche war gewöhnlich:

2 ohne Wärmequelle

2 mit "

wiederum tränken

2 mit Wärmequelle

2 ohne "

Hierauf wurde die totale Strahlung bestimmt und eine neue Reihe angefangen in ganz ähnlicher Weise wie die obengenannte, nur mit Vertauschung von „ohne“ und „mit“ Wärmequelle.

Um die Absorption durch eine grössere Säule zu bestimmen, wurden 2 Cylinder hinter einander gestellt; der Abstand der Oeffnung des Reflectors vom ersten Cylinder betrug 18 Cent.

Die Resultate sind hier zusammengesetzt. Die obere Zahl in der Parenthese ist der mittlere Fehler, die untere die Anzahl der Beobachtungen.

### Ablenkung.

#### 1 Cylinger

		ohne Wärmequelle	mit Wärmequelle	totale
7. Juni 17° C.	28,8	0,8 16	78,4 15	380
9. Juni 16,5° C.	23,2	1,2 16	68,2 16	390
12. Juni 17° C.	25,2	1,0 12	71,8 12	380

#### 2 Cylinder

8. Juni 17,5° C.	45,7	2,3 16	109,8 16	370
10. Juni 16° C.	47,1	1,1 12	112,3 12	390

Also:

1 Cylinder	2 Cylinder
$\frac{49,6}{380} = 12,8$ Proc. m. F. 0,65	$\frac{64,1}{370} = 17,3$ Proc. m. F. 1,0
$\frac{45}{390} = 11,6$ Proc. m. F. 0,62	$\frac{65,2}{390} = 16,7$ Proc. m. F. 0,44
$\frac{46,6}{380} = 12,3$ Proc. m. F. 0,45	$\frac{12,2}{380} = 17,0$ Proc. m. F. 0,55.

Betrachtet man 17 Proc. ganz als Absorption ausgeübt durch die längere Säule und berechnet die der zweimal kürzeren, so erhalten wir 8,9 m. F. 0,3, während wir 12,2 Proc. gefunden haben. Der Unterschied überschreitet die Beobachtungsfehler zu viel.

Aus den Ablenkungen „ohne Wärmequelle“ ersieht man, dass die Dichtigkeit in beiden Fällen ziemlich gleich gewesen ist, so dass dadurch der Unterschied nicht erklärt werden kann.

Infolge der Reflexion der Wärmestrahlen an der Gränze Luft - Dampf und Dampf - Luft kann ein Verlust stattfinden, und dieses wird einen Unterschied verursachen wie oben gefunden wurde. War bei den Versuchen mit 2 Cylindern der emporsteigende Dampf für keinen Strahl unterbrochen, so würde der Einfluss dieser Reflexion dem bei den Versuchen mit einem Cylinder gleich seyn. Setzen wir dieses voraus, so finden wir, dass 7 Proc. reflectirt, 5,5 Proc. und 10,6 Proc. resp. durch die kürzere und längere Säule absorbirt wurden. Die Cylinder standen zwar nebeneinander, der Dampf im mittleren Theile war also nicht unterbrochen, aber es ist sehr möglich dass Strahlen, welche nicht durch die Mitte gehen viermal reflectirt wurden. Statt Cylinder muss man also Parallelipeda benutzen, da dann in einem Falle alle Strahlen einen zweimal gröfseren Weg als im anderen durch den Dampf zurücklegen und in beiden Fällen nur zweimal reflectirt werden.

Aber außer dieser Reflexion kann der obengenannte Unterschied noch dadurch erklärt werden, dass die Schwächungscoefficienten der verschiedenen dem Würfel entströmenden Strahlen nicht dieselben sind; in dieser Voraussetzung ist ja die Rechnung durchgeführt. Wahrscheinlich findet sowohl Reflexion als Thermochrose statt. Spätere Untersuchungen müssen über diesen Gegenstand entscheiden.

**III. Ueber die Abhängigkeit des galvanischen Leitungswiderstandes von der Stromstärke und die Edlund'sche Theorie der Diaphragmaströme; von E. Dorn in Breslau.**

---

## 1.

In der Schrift „*Théorie des phénomènes électriques*“<sup>1)</sup>, giebt Hr. Edlund eine zusammenhängende Darstellung seiner Anschauungen von der Natur der Elektricität und eine auf dieselbe gegründete Theorie verschiedener Erscheinungen auf diesem Gebiete.

Insbesondere weicht seine Auffassung des galvanischen Leitungswiderstandes von der bisher verbreiteten ab. Während nämlich nach letzterer der Widerstand von der Stromstärke unabhängig ist, setzt Hr. Edlund denselben der Stromstärke proportional<sup>2)</sup>. Da die bisherigen experimentellen Resultate zu einer Entscheidung über diesen Punkt nicht ausreichen, unternahm Hr. Edlund eine besondere Untersuchung zu diesem Zweck<sup>3)</sup>.

Für die Stromstärke in einem Stromkreise, von dem sich ein Theil mit einer Geschwindigkeit  $h_1$  bewegt, ergiebt seine Theorie:

$$i_1 = \frac{E - r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0} \quad \dots \quad (1),$$

worin:

$E$  die elektromotorische Kraft der Kette,

$r_0$  der Widerstand des bewegten Theiles für die Stromstärke 1 („principaler Widerstand“ nach Hrn. Edlund, übereinstimmend mit dem Widerande der älteren Auffassung),

$R_0$  der principale Widerstand des ruhenden Theiles,

1) *Théorie des phénomènes électriques.* Stockholm 1874.

2) *I. c.* Seite 22 ff.

3) Diese Ann. Bd. 156, S. 251 ff.

*chen und me;*

*δ die Masse freien Aethers in der Volumeneinheit des Leiters,*

*a der Querschnitt des bewegten Theiles.*

Das positive oder negative Zeichen gilt, je nachdem die Bewegung des betreffenden Stromtheiles im Sinne des durch *E* erzeugten Stromes oder im entgegengesetzten Sinne geschieht.

Um einen Stromtheil beweglich zu machen, wendet Hr. Edlund Flüssigkeiten an, welche leicht mit bedeutender Geschwindigkeit durch Röhren hindurchgetrieben werden können.

In Beziehung auf die Anordnung der Versuche verweise ich auf die Abhandlung von Hrn. Edlund<sup>1)</sup> und bemerke nur, daß sie so eingerichtet waren, daß nur die Änderung der Stromstärke, welche dem Term

$$\pm \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0}$$

entspricht, eine Ablenkung des Galvanometers zur Folge hatte.

Als Resultat verschiedener Versuchsreihen, die mit destillirtem Wasser, Alkohol, 24 Volumprocente Wasser enthaltend, und Wasser aus der Wasserleitung der Stadt angestellt wurden, giebt Hr. Edlund an, daß keine Ablenkung zu bemerken war, wenn *E* = 0, also kein Elektromotor sich im Stromkreise befand, daß aber, sowie ein solcher eingeschaltet wurde, eine Ablenkung in dem von der Theorie geforderten Sinne auftrat. Er schließt hieraus auf die Richtigkeit seiner Voraussetzung, daß nämlich der Widerstand der Stromstärke proportional sey.

## 2.

Gegen diesen Schluss sind von Hrn. Helm Einwendungen erhoben worden<sup>2)</sup>, der in der That von anderen Voraussetzungen ausgehend eine etwas abweichende For-

1) Diese Ann. Bd. 56, S. 253.

2) Diese Ann. Bd. 157, S. 645 ff.

mel entwickelt, welche sich den experimentellen Resultaten Edlund's anpasst.

Ich will nun zeigen, daß man unter den von Hrn. Helm gemachten Voraussetzungen *genau* die Edlund'sche Formel erhält, wobei ich auf die Ableitung eingehen muß, da Hr. Helm nur eine genäherte Formel ohne dieselbe gibt.

Um die Länge  $l$  des bewegten Leiterstückes zurückzulegen, braucht die Elektricität bei der Geschwindigkeit  $C$  die Zeit  $\frac{l}{C}$ . Ist die Geschwindigkeit des bewegten Leiterstückes  $c$ , so hat sich dasselbe während dessen um  $\frac{lc}{C}$  fortbewegt, also hat die Elektricität im Leiter — beide Bewegungen als gleichgerichtet vorausgesetzt — nur die Strecke  $l\left(1 - \frac{c}{C}\right)$  zurückgelegt. War nun der Widerstand für den Zustand der Ruhe  $w$ , so wird derselbe für den Fall der Bewegung

$$w\left(1 - \frac{c}{C}\right)$$

seyn, und man hat nach dem Ohm'schen Gesetz

$$J = \frac{E}{w_1 + w\left(1 - \frac{c}{C}\right)} \quad \dots \quad 2),$$

worin  $w_1$  der Widerstand des ruhenden Theiles des Stromkreises ist.

Setzt man noch  $w + w_1 = W$  und entwickelt nach Potenzen von  $\frac{c}{C}$ , so erhält man bei Fortlassung von höheren Potenzen die von Hrn. Helm angegebene Formel

$$J = \frac{E}{W} \left(1 + \frac{w}{W} \frac{c}{C}\right).$$

Hr. Helm hat aber hiebei augenscheinlich nicht bedacht, daß  $C$  von  $J$  und dem Querschnitte des bewegten Leiterstückes abhängt.

Unter  $C$  kann nämlich offenbar nicht verstanden werden die Geschwindigkeit, mit der eine elektrische Erregung sich fortpflanzt, denn diese ist von der Ordnung der

Lichtgeschwindigkeit, also  $\frac{c}{C}$  verschwindend klein, so dass ein Unterschied der Stromstärke für einen ruhenden und bewegten Leiter nicht wahrnehmbar wäre.

Vielmehr kann mit  $C$  nur diejenige Geschwindigkeit gemeint seyn, mit der sich die Elektricität im Leiter bewegt<sup>1)</sup>. Diese aber ist mit der Stromstärke direct und dem Querschnitte umgekehrt proportional, also:

$$C = \gamma \frac{q}{J},$$

wo  $q$  eine Constante bedeutet. Man erhält dann aus 2):

$$J = \frac{E + \frac{w c q}{\gamma}}{w + w_1} \quad \dots \quad 3);$$

also, wenn man zu der Bezeichnung von Hrn. Edlund übergehend,  $w$  durch  $r_0$ ,  $w_1$  durch  $R_0$ ,  $c$  durch  $h_1$ ,  $q$  durch  $a$  ersetzt, gerade seine Formel 1), nur dass in letzterer die Bedeutung der Constanten klar hervortritt.

Hr. Helm hebt ferner<sup>2)</sup> richtig hervor, dass, wenn die Formel 1) richtig wäre, durch Bewegung des Leiterstückes allein, auch ohne dass im Schließungsbogen elektromotorische Kräfte thätig wären, ein Strom erzeugt werden müfste. In der That, setzt man  $E = 0$ , so folgt:

$$i_0 = \pm \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0} \quad \dots \quad 4)$$

und nach der Versuchsanordnung von Hrn. Edlund hätte ohne einen Elektromotor dieselbe Ablenkung beobachtet werden müssen wie bei Einschaltung eines solchen.

Dieser Einwand trifft nach dem Obigen aber ebenso die streng durchgeföhrte Theorie von Hrn. Helm.

Nach der Entdeckung von Hrn. Quincke<sup>3)</sup> erhält man einen galvanischen Strom, wenn man durch ein Thondiaphragma eine Flüssigkeit hindurchpreßt und die Flüssig-

1) Ueber diese beiden Geschwindigkeiten der Elektricität s. Edlund *Théorie des phénomènes électriques*.

2) Diese Annalen Bd. 157, pag. 646.

3) Diese Annalen Bd. 107 u. 110.

keit vor und hinter dem Diaphragma leitend verbindet; ferner hat Hr. Zöllner gezeigt<sup>1)</sup>), daß man auch das Diaphragma mit gleichem Erfolge durch eine enge Röhre ersetzen kann.

Da nun bei den Versuchen von Hrn. Edlund Flüssigkeiten mit bedeutender Geschwindigkeit durch enge Röhren getrieben wurden, so lag es nahe, das Auftreten eines Diaphragmenstromes zu erwarten, der sich freilich in gleicher Stärke zeigen müßte, gleichviel ob sonst eine elektromotorische Kraft im Stromkreise sich befindet oder nicht.

Hr. Edlund hat eine Theorie der Diaphragmenströme gegeben<sup>2)</sup>, seine Formel für die Stromstärke lautet (a. a. O. Seite 59, β)

$$i = \frac{\delta k l H}{m_1 + m_0}.$$

Hierin bedeutet (wenn wie bei der Zöllner'schen Versuchsanordnung  $n$  die Anzahl der Röhren = 1),

$k$  den spezifischen Widerstand der Flüssigkeit,

$l$  die Länge der engen Röhre,

$H$  die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in derselben,

$m_1$  den principalen Widerstand in der engen Röhre

(derselbe ist  $= \frac{kl}{a}$ , wenn  $a$  der Querschnitt),

$m_0$  den principalen Widerstand des übrigen unbewegten Theiles des Stromkreises.

Die Richtung des Stromes soll mit der Richtung der Flüssigkeitsbewegung übereinstimmen.

Ersetzt man, um zu der hier gewählten Bezeichnung überzugehen,  $H$ ,  $m_1$ ,  $m_0$  resp. durch  $h_1$ ,  $r_0$ ,  $R_0$  und schreibt für  $kl$  das gleichbedeutende  $r_0 a$ , so wird

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0}$$

also identisch mit der Formel 4), welche bei Bewegung eines Theiles des Stromkreises die Stromstärke angibt, wenn sonst keine elektromotorische Kraft thätig ist.

1) Diese Annalen Bd. 148.

2) *Theorie des phénomènes électriques* pag. 56 ff.

*Also auch nach der Edlund'schen Theorie der Diaphragmenströme musste man einen Diaphragmenstrom bei seinen Versuchen erwarten, und insbesondere auch in dem Falle, daß keine weitere elektromotorische Kraft thätig ist.*

Hr. Edlund verwahrt sich ausdrücklich dagegen, einen Diaphragmenstrom beobachtet zu haben<sup>1)</sup> und bemerkt nicht, daß er sich dadurch mit seiner eigenen Theorie der Diaphragmenströme, sowie mit der von ihm entwickelten Formel 1) in Widerspruch setzt, und daß seine eigenen Beobachtungen die Theorie nicht bestätigen. Wahrscheinlich hielt er für nothwendig zur Erzeugung von Diaphragmenströmen, ein engeres Rohr zwischen zwei weitere einzuschließen und in diese erst die Elektroden einzusetzen<sup>2)</sup>, seine Ableitung bleibt aber, wie man sich leicht überzeugt, auch dann gültig, wenn man die Elektroden direct in die enge Röhre einführt.

*Jedenfalls also — gleichgültig ob man die Edlund'sche Theorie adoptirt oder nicht — handelt es sich bei den Versuchen um Diaphragmenströme, und die Beobachtungsresultate werden geeignet seyn auch über letztere Aufschluß zu geben.*

#### 4.

Hr. Edlund behauptet<sup>3)</sup>, seine Theorie der Diaphragmenströme befindet sich in Uebereinstimmung mit den Resultaten der HH. Quincke und Zöllner.

Es scheint ihm danach ein Versuch des Ersteren entgangen zu seyn, wonach ein unreiner Alkohol beim Durchpressen durch einen Thoncylinder einen Diaphragmenstrom *gegen* die Richtung der Flüssigkeitsbewegung ergab<sup>4)</sup>, während die Theorie von Hrn. Edlund die umgekehrte fordert. Uebrigens wurde derselbe Alkohol von dem elektrischen Strome auch gegen die Stromrichtung fortgeführt, während

1) Diese Annalen Bd. 156, pag. 271.

2) *Théorie des phénomènes électriques* pag. 59 u. 60.

3) Ebenda p. 59.

4) Diese Annalen Bd. 113, pag. 559 Ann.

fast alle andern Flüssigkeiten der Richtung des positiven Stromes folgten.

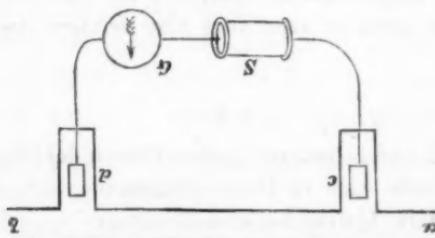
Die Versuche, welche nach der Methode von Hrn. Quincke angestellt sind, eignen sich sonst wenig zu einer Entscheidung über die Edlund'sche Theorie, da man die Weite der Poren in dem Diaphragma nicht bestimmen kann, und secundäre Prozesse, wie Nebenschließungen im Diaphragma u. s. w. die Erscheinung compliciren.

### 5.

Nach Methoden, welche von den Edlund'schen nur unwesentlich abwichen, habe ich eine längere Reihe von Beobachtungen angestellt, um die Richtigkeit der Formel 1 (resp. 4) oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Edlund'schen Theorie der Diaphragmenströme zu prüfen.

Die erste Methode (schematisch dargestellt in Figur 1) entspricht der zweiten von Hrn. Edlund. *ab* ist eine

Fig. 1.



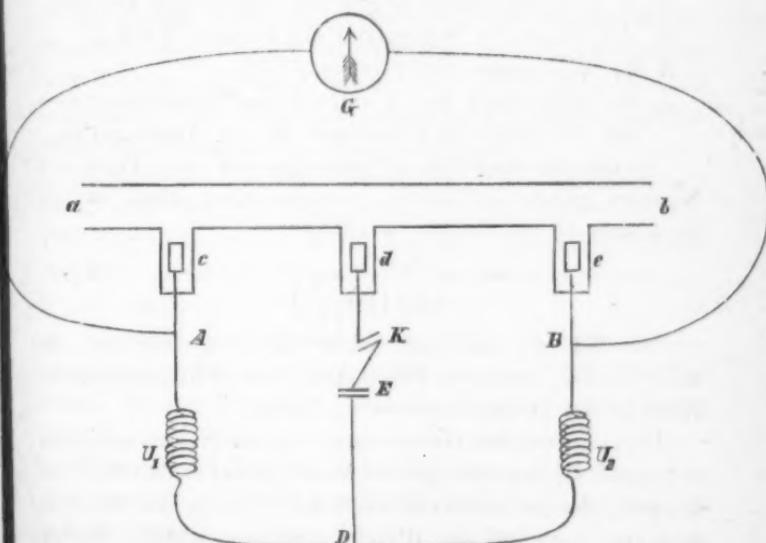
Röhre, die mit der Flüssigkeit gefüllt ist, resp. von derselben durchströmt wird. In die seitlichen Ansätze *c* und *d* sind mit Hilfe von Kork und Siegellack die Elektroden eingesetzt; *G* ist das Galvanometer, *S* die Inductionsrolle eines Siemens'schen Inductionsapparates, in der nach Belieben schnell aufeinanderfolgende alternirende Inductionsströme gleicher Intensität erzeugt werden konnten. Die Stärke derselben ist jedenfalls ausreichend, denn als eine kleine Funkenstrecke eingeschaltet war, so dass nur der Oeffnungsstrom übergang, betrug die Ablenkung mehr als

100 Scalentheile. Ruht der Inductionsapparat, so ist  $E = 0$  zu setzen, ist er in Thätigkeit, so giebt er für sich allein auch keine Ablenkung, also sollte nach 1) in beiden Fällen, wenn die Flüssigkeit sich bewegt, die Stromstärke seyn

$$i_1 = \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0}.$$

Da mir für die erste Edlund'sche Methode ein geeigneter Differentialmultiplikator nicht zu Gebote stand, wendete ich statt desselben die Wheatstone'sche Brücke an in einer Weise, die durch Fig. 2 veranschaulicht wird. Die

Fig. 2.



Röhre ab trägt jetzt drei seitliche Ansätze c d e mit eingesetzten Elektroden.  $G$  ist das Galvanometer,  $U_1$  und  $U_2$  Systeme von Widerstandsrollen (Siemens'sche Universalwiderstandskasten), welche bis je 12220 Siemens'sche Einheiten einzuschalten erlaubten.  $K$  ist ein Unterbrecher,  $E$  ein Chromsäureelement, dessen elektromotorische Kraft etwa 2 Daniell betrug.

Sind die Entfernungen  $c d$  und  $d e$  gleich — was fast genau der Fall war — und in  $U_1$  und  $U_2$  beiderseits gleiche

Widerstände eingeschaltet, so geht bekanntlich durch die *G* enthaltende Brücke kein Strom (falls nämlich die Flüssigkeit in der Röhre ruht).

Wird die Flüssigkeit in Bewegung gesetzt, so findet man leicht (ohne Unterschied ob das Element sich bei *E* befindet oder der mittlere Zweig lediglich aus einem Drahte besteht oder endlich ganz fehlt) für die Stromstärke in dem Zweige, welcher das Galvanometer enthält:

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1 \cdot R_1}{R R_1 + (r_0 + \varrho_0) (R + R_1)} \quad \dots \quad 5),$$

wo:

$r_0$ ,  $\delta$ ,  $a$ ,  $h_1$  die früher angegebene Bedeutung besitzen,  
 $R_1$  der gesamte Widerstand der Strecke *ADB*,

$R$  der Widerstand der Strecke *AGB*,

$\varrho_0$  der Widerstand in *eA* und *eB* (im Wesentlichen also von der ruhenden Flüssigkeit in den Ansätzen) ist.

Da nun bei sämtlichen Versuchen der erste Term des Nenners gegen den letzten verschwindend klein ist, so kann statt 5) geschrieben werden:

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1}{(r_0 + \varrho_0) \left( 1 + \frac{R}{R_1} \right)} \quad \dots \quad 5').$$

Der Strom  $i$  soll eine solche Richtung besitzen, als wäre in der bewegten Flüssigkeit eine elektromotorische Kraft in der Bewegungsrichtung thätig.

Das angewendete Galvanometer war ein Siemens'sches mit aperiodisch schwingender Nadel und etwa 34 000 Windungen, dessen Empfindlichkeit durch einen Astasirungsmagneten etwa auf das 10fache gesteigert wurde. Weiter zu gehen erlaubte die starke Dämpfung nicht. Der Widerstand des Galvanometers betrug etwa 3416 Siemens'sche Einheiten. Während der ganzen Untersuchung blieben Galvanometer, Astasirungsvorrichtung und Ablesefernrohr unberührt. Ein Meyerstein'sches Galvanometer, das eine stärkere Astasirung zuließ, war für den vorliegenden Zweck weit weniger brauchbar.

Um die Flüssigkeit durch die Röhre zu treiben, diente folgende Vorrichtung: Von den 3 Hälften einer etwa

10 Liter haltenden Woulf'schen Flasche war einer mit einer Bunsen'schen Wasserluftpumpe, der zweite mit einem Manometer, der dritte mit der Röhre durch dickwandige Gummischläuche verbunden. Der nach der Röhre führende Schlauch konnte durch einen Quetschhahn abgesperrt werden. An das andere Ende der Röhre war mit einem Stückchen Gummischlauch eine zweite gebogene Röhre befestigt, welche in eine etwa 6 Liter fassende Flasche mit der Flüssigkeit eintauchte. Der Druck betrug gewöhnlich etwas über 500<sup>mm</sup>, und änderte sich nur wenig während eines Versuches.

Es wurden 3 Röhren angewendet. Bei Apparat I war zwischen zwei weiten Glasröhren mit Kork und Siegellack eine Röhre von 64<sup>mm</sup>,6 Länge und 1<sup>mm</sup>,01 Durchmesser eingesetzt. Die Elektroden von Platin befanden sich in seitlichen Ansätzen der weiteren Röhren.

Apparat II war eine Röhre von 338<sup>mm</sup> Gesamtlänge mit 3 seitlichen Ansätzen, deren Abstand 109<sup>mm</sup> betrug. Der Durchmesser der Röhre war 4<sup>mm</sup>. In den seitlichen Ansätzen befanden sich die Elektroden, Golddrähte mit kleinen angenieteten Goldplättchen.

Apparat III war analog eingerichtet, nur war die Gesamtlänge 483<sup>mm</sup>, der Röhrendurchmesser 5<sup>mm</sup>,8, der Abstand der Ansätze 166<sup>mm</sup> und die Elektroden waren von Platin.

Die Querschnitte von II und III entsprachen also etwa den von Hrn. Edlund gewählten, die Längendimensionen waren größer.

## 6.

Um Ungleichheiten der Elektroden zu beseitigen, bewährte sich noch am besten, dieselben kurze Zeit in Königs-wasser zu tauchen, sorgfältig mit destillirtem Wasser zu waschen und über einer reinen Alkoholflamme zu glühen. Sie wurden dann in die Röhre eingesetzt und untereinander verbunden, nachdem die Röhre mit der Flüssigkeit gefüllt

war. Eine Behandlung mit heißer concentrirter Schwefelsäure war weit unwirksamer.

Vor den eigentlichen Beobachtungen wurde die etwa noch vorhandene Ablenkung in Folge der Ungleichheit der Polplatten bestimmt und meistens die Röhre so eingeschaltet, daß sie der zu erwartenden Ablenkung durch die Flüssigkeitsbewegung entgegengesetzt war.

Bei einer Beobachtung wurde gewöhnlich zuerst die Ruhelage des Galvanometers, dann der Stand desselben bei ruhender Flüssigkeit, bei bewegter Flüssigkeit, dann wieder bei ruhender und schließlich die Ruhelage des Galvanometers beobachtet. Für die Rechnung wurde das arithmetische Mittel der correspondirenden Ablesungen verwendet und so eine etwaige geringe Änderung der Ruhelage eliminiert.

Mitunter wurde auf eine Beobachtung der Ruhelage verzichtet, um nicht durch Unterbrechung die Ungleichheit der Polplatten stärker hervortreten zu lassen.

Vor Beginn und gleich nach Aufhören der Flüssigkeitsbewegung wurde der Druck am Manometer abgelesen, ebenso der Stand der Flüssigkeit in der Flasche, um die wegen der Flüssigkeitssäule erforderliche Correction des Druckes anbringen zu können. Für die Rechnung benutzt wurde der Druck am Schlusse, da er ja dem Moment der Ablesung entspricht.

Um die Beobachtungen einer Reihe untereinander vergleichbar zu machen, sind sie auf den mittleren Druck reducirt, indem die Ablenkung demselben proportional gesetzt wurde.

Wo es nicht ausdrücklich bemerkt ist, ist zu einer ganzen Versuchsreihe immer der Inhalt der 6 Liter-Flasche ausreichend gewesen, so daß die Flüssigkeit während derselben vollkommen identisch blieb.

Um für den Widerstand der angewandten Flüssigkeit eine annähernde Bestimmung zu haben, wurde — wenigstens bei den späteren Beobachtungen — nach Schluss jeder Beobachtungsreihe der Reductionsfactor des Galvano-

meters mit Benutzung einer bekannten elektromotorischen Kraft (ein Daniell'sches Element) und einer Nebenschließung von gemessenem Widerstände ermittelt und dann die Ablenkung gemessen, welche dasselbe Element mit der Röhre und dem Galvanometer zu einem Stromkreise vereinigt gab. Man findet hieraus leicht den Widerstand der Flüssigkeit in der Röhre. Eine Ablenkung um einen Skalentheil entsprach etwa dem Strom, den ein Daniell bei 700 Millionen Quecksilbereinheiten Widerstand liefert.

## 7.

Die Beobachtungen beziehen sich auf verschiedene Proben von destillirtem Wasser, Wasser der Wasserleitung, sehr verdünnte Kupfervitriollösung, eine Mischung von Brennspiritus mit Wasser und einen unreinen absoluten Alkohol.

Ferner sind einige Versuche gemacht, bei denen die innere Wandung der Röhre II mit einem Ueberzuge von Schellack und von Schwefelkristallen versehen war. Um diese Ueberzüge herzustellen, ließ ich eine Lösung von Schellack in absolutem Alkohol respective von Schwefel in Schwefelkohlenstoff durch die Röhre laufen und entfernte das Lösungsmittel durch Hindurchsaugen von Luft mit der Wasserluftpumpe.

In nachstehender Tabelle sind die Beobachtungsresultate zusammengestellt, nicht chronologisch, sondern nach den Flüssigkeiten und Methoden geordnet.

Die Beobachtungsmethoden sind so bezeichnet:

- D** die erste von mir angegebene Methode ohne Inductionsströme (in denjenigen Fällen wo nicht auf **D** unmittelbar **DS** folgt, ist nur Röhre und Galvanometer zu einem Stromkreise vereinigt),
- DS** dieselbe, mit thätigem Inductionsapparat,
- W<sub>o</sub>** die zweite Methode, wenn der Unterbrecher **K** offen,
- W** wenn er geschlossen, aber kein Element eingeschaltet war,
- WC** wenn ein Element eingeschaltet war.

Die Ablenkungen sind von dem Stande des Galvanometers bei ruhender Flüssigkeit an gerechnet, ein + bedeutet, dass sie so erfolgen, als wäre in der Röhre eine elektromotorische Kraft im Sinne der Flüssigkeitsbewegung thätig, ein — eine Ablenkung in entgegengesetztem Sinne.

Unter *P* ist die Ablenkung in Folge der Ungleichheit der Elektroden angegeben. Die unter einer Nummer zusammengefasssten Beobachtungen sind dicht hintereinander angestellt. Änderungen der Empfindlichkeit des Galvanometers kommen also nicht in Betracht. *c*, *d*, *e* bedeuten die drei Elektroden, *c* die der offenen Flasche zugewandte.

(Hier folgt die Tabelle.)

vano-  
+ be-  
e eine  
egung  
inne.  
chheit  
er zu-  
mander  
Galva-  
deutens  
zuge-

Datum	No. des Versuchs	Apparat	Flüssigkeit	P	Mittlerer Druck	Anordn. der Versu.
2. Juli	14	II	Dest. Wasser 6 Wasser d. Leitung	unmerklich anfangs + 4 abnehmend bis —	503	* I * I
8. Juli	15	II	Wasser d. Leitung	+ 25 ?	470	I I
9. Juli	16	II	Wasser d. Leitung (gelblich u. trübe)	+ 0,6 — 0,95 + 1,77	534	* I I
13. Juli	17	II	Wasser d. Leitung	+ 0,67 — 0,35 + 0,42	507	I I I
23. Juli	18	II	Dest. Wasser 7 Kupfervitriol- lösung 1 <sup>1)</sup>	unmerklich	523	I I
30. Juli	19	II	Dest. Wasser 8 Kupfervitriol- lösung 2 <sup>1)</sup>	— 0,17 + 0,90	525	I
1. August	20	II	Dest. Wasser 9 Mischung mit Spiritus <sup>2)</sup>	— 0,57	518	I
3. August	21	II	Absoluter Alkohol 1 Derselbe mit etwas Wasser	+ 0,87 + 0,25	519 540	I I
4. August	22	II	Absoluter Alkohol 2	{ ce: unmerklich cd: — 2,45 de: + 1,25	528	W W
5. August	23	II	Absoluter Alkohol 2	{ ce: + 0,2 cd: — 2,22 de: + 2,45	509	W W W
16. Juli	24	II	Dest. Wasser 6	unmerklich	501	
17. Juli	25	II	Dest. Wasser 6	+ 0,3	518	
6. August	26	II	Dest. Wasser 9	unmerklich + 1,52	515	

1) Die Kupfervitriollösung 1 wurde erhalten, indem zu dem Rest des destillirten Wassers ein 100 Grm. der Lösung 1 enthielten 3,1 Milligramm CuSO<sub>4</sub>. Die Kupfervitriollösung 2 wurde

2) Auf 100 Cubikcentimeter der Mischung kamen 9,34 Cubikcentimeter Spiritus.

Mittlerer Druck	Anordnung des Versuchs	Zahl der Beobachtungen	Ablenkung	Mittlerer Fehler	Widerstand in Millionen Siemens-Einheiten	Bemerkungen
503	*D *D	3 3	10,28 4,19	± 0,18 ± 0,56	1,43	
470	D D	3 3	2,53 3,69	± 0,18 ± 0,36	1,52	Röhre umgekehrt
534	*D D D	4 4 4	4,25 3,05 3,49	± 0,31 ± 0,07 ± 0,14	1,45	Röhre umgekehrt Röhre in die erste Lage
507	D D D	5 4 2	3,87 5,32 4,27	± 0,13 ± 0,38 ± 0,17	1,51	Röhre umgekehrt Röhre in die erste Lage
523	D D	3 unmerkl.	4,65	± 0,39	1,61	
525	D	2 3	8,35 1,62	± 0,22 ± 0,32	3,84	
518	D	4 3	5,44 5,46	± 0,24 ± 0,37	8,86	
519 540	D D	1 1	-1,2 -0,75		22,2	
528	W WC WC	3 2 3	-0,71 -0,79 -0,24	± 0,18 ± 0,15 ± 0,08	14,4	Der positive Pol des Elementes nach d gekehrt Element umgekehrt
509	W <sub>o</sub> W WC	2 1 2	-0,77 -0,51 -0,26	± 0,01 ± 0,04	16,5	Der positive Pol des Elementes nach d gekehrt Element umgekehrt
501	D D	2 3	11,03 10,76	± 0,30 ± 0,26	46,4	Ohne Schellacküberzug Mit Schellacküberzug
518	D	3	10,71	± 0,24	46,0	Neuer Schellacküberzug
515	D D	3 3	6,43 7,01	± 0,11 ± 0,19	6,95	Reine Glaswand Schwefelüberzug

tillirten Wassers eine gemessene Quantität einer concentrirten Lösung von bekanntem Gehalte zugesetzt wurden. Triollösung 2 wurde analog bereitet; hier kamen auf 100 Grm. der Lösung 1,6 Milligramm CuSO<sub>4</sub>.  
itus.

Datum	No. des Versuchs	Apparat	Flüssigkeit	P	Mittlerer Druck	Andere Verh.
8. Juni	1	I	Dest. Wasser 1	- 0,68	559	
10. Juni	2	I	Dest. Wasser 1	unmerklich - 0,27	561	
13. Juni	3	I	Dest. Wasser 3	unmerklich	581	
26. Juni	4	I	Dest. Wasser 6	?	550	
15. Juni	5	II	Dest. Wasser 4	- 0,13	528	
18. Juni	6	II	Dest. Wasser 5	- 0,65	532	
19. Juni	7	II	Dest. Wasser 5	- 0,17	531	
25. Juni	8	III	Dest. Wasser 5	- 0,61	509	
26. Juni	9	III	Dest. Wasser 6	unmerklich	512,5	
10. Juni	10	II	Dest. Wasser 2	unmerklich	500	
18. Juni	11	II	Dest. Wasser 5	unmerklich	522	
22. Juni	12	II	Dest. Wasser 5	{ ee: unmerklich cd: - 0,13 de: - 0,13	510	
29. Juni	13	II	Dest. Wasser 6 Wasser d. Leitung	- 0,65 bedeutend und veränderlich	505	

In den mit \* bezeichneten Versuchen wurde statt der 6 Liter-Flasche ein 2 Liter-Ge

Mittlerer Druck	Anordnung des Versuchs	Zahl der Beobachtungen	Ablenkung	Mittlerer Fehler	Widerstand in Millionen Siemens-Einheiten	Bemerkungen
559	D DS D	3 3 3	17,62 17,51 17,31	$\pm 0,82$ $\pm 0,64$ $\pm 0,12$	—	—
561	D DS D	3 4 4	14,29 13,32 13,23	$\pm 0,09$ $\pm 0,55$ $\pm 0,46$	—	—
581	D DS D	5 4 4	14,79 14,57 14,29	$\pm 0,26$ $\pm 0,16$ $\pm 0,10$	—	—
550	D	2	18,20	$\pm 0,86$	—	—
528	D DS D	4 3 2	3,82 4,20 4,35	$\pm 0,28$ $\pm 0,12$ $\pm 0,07$	—	—
532	D DS D	2 2 2	9,87 9,95 9,91	$\pm 0,29$ $\pm 0,31$ $\pm 0,01$	—	—
531	D DS D	2 3 2	10,49 10,55 10,49	$\pm 0,02$ $\pm 0,11$ $\pm 0,17$	—	—
509	D DS	4 1	4,78 4,99	$\pm 0,17$	—	—
512,5	D DS	3 3	4,71 4,72	$\pm 0,12$ $\pm 0,25$	—	—
500	W WC	2 3	4,95 4,65	$\pm 0,17$ $\pm 0,27$	—	—
522	D W WC W	2 2 2 1	11,18 9,37 9,59 10,23	$\pm 0,31$ $\pm 0,35$ $\pm 0,06$	—	—
510	D W WC	2 3 3	12,20 11,16 10,91	$\pm 0,16$ $\pm 0,15$ $\pm 0,29$	—	—
505	*D *D	3 3	11,31 4,50	$\pm 0,74$ $\pm 0,32$	—	—

sche ein 2 Liter-Gefäß angewendet, das mehrmals gefüllt werden mußte.

D  
mit d  
lenku  
Strom  
keine  
und A  
achtu

M  
bei d  
motor  
heit d  
daß die U

D  
bei n  
gleich  
F

Flüss  
trat,

V  
geset  
leicht  
im S

V  
zu e  
Hrn.  
zufolg  
rische  
Kräfte

In  
tungen  
Hrn.

Z  
von I  
kung  
(Vers)

## 8.

Die Beobachtungen zeigen zunächst im Widerspruche mit denen von Hrn. Edlund, daß auch dann eine Ablenkung eintritt, wenn kein Elektromotor sonst sich im Stromkreise befindet. Die Einschaltung eines solchen bringt keine Änderung hervor, denn die Abweichungen von *D* und *DS*, resp. *W* und *WC* übersteigen nicht die Beobachtungsfehler (s. insbes. Versuch 5 bis 12).

Man könnte vielleicht einwenden, daß die Ablenkung bei den Versuchsanordnungen *D* und *W* von der elektromotorischen Kraft herrühre, welche durch die Ungleichheit der Polplatten in den Stromkreis eingeführt ist, und daß keine Ablenkung eintreten würde, wenn es gelänge, die Ungleichheit ganz zu beseitigen.

Dem gegenüber ist zunächst darauf hinzuweisen, daß bei mehreren Versuchen (9, 10, 11, 12 etc.) eine Ungleichheit der Polplatten nicht constatirt werden konnte.

Ferner war die Röhre meistens so angebracht, daß bei Flüssigkeitsbewegung eine entgegengesetzte Ablenkung eintrat, wie in Folge der Ungleichheit der Polplatten.

Wenn nun der Flüssigkeitsstrom eine solche entgegengesetzte Ablenkung zu überwinden vermag, wird man leicht zugeben, daß er auch eine Ablenkung zu erzeugen im Stande ist, wenn ursprünglich keine vorhanden war.

Wie man also nach den Versuchen von Hrn. Zöllner zu erwarten berechtigt war, und auch die Theorie von Hrn. Edlund fordert, entsteht meinen Beobachtungen zufolge durch die Flüssigkeitsbewegung eine elektromotorische Kraft unabhängig von sonstigen elektromotorischen Kräften im Stromkreise.

Im Uebrigen steht aber das Resultat meiner Beobachtungen durchgängig im Widerspruche mit der Theorie von Hrn. Edlund.

Zunächst ergab der absolute Alkohol ähnlich wie der von Hrn. Quincke (s. §. 4 dieser Abhandl.) eine Ablenkung entgegengesetzt der von der Theorie geforderten. (Versuch 21, 22, 23.)

Nach den Formeln 4 und 5') sollte seyn für die Versuchsanordnungen *D* und *DS*:

$$i_1 = \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0}$$

und für *W* und *WC*:

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1}{(r_0 + v_0) \left(1 + \frac{R}{R_1}\right)}.$$

Es ist leicht zu übersehen, daß  $i_1$  bei Anwendung derselben Apparates und gleichem  $h_1$  für alle Flüssigkeiten identisch seyn müßte, solange der Widerstand der Drahtleitungen und des Galvanometers gegen den der Flüssigkeit verschwindet. Denn schreibt man

$$i_1 = \frac{\delta a h_1}{1 + \frac{R_0}{r_0}},$$

so ist derjenige Theil von  $\frac{R_0}{r_0}$ , der sich auf die Flüssigkeit in den seitlichen Ansätzen bezieht, constant, der auf den Rest bezügliche verschwindet.

Dasselbe gilt für *i*.

Da nun der Widerstand der Flüssigkeit wenigstens  $1\frac{1}{2}$  Millionen Quecksilbereinheiten betrug, so war obige Bedingung stets erfüllt.

Im Widerspruch mit der hieraus gezogenen Folgerung weichen schon für die verschiedenen Sorten des destillirten Wassers die Ablenkungen bedeutend von einander ab in einer Weise, die nicht durch Änderung des Reductionsfactors des Galvanometers mehr erklärt werden kann. (Vergl. insbes. Versuch 5 und andererseits 11, 12 etc.)

In den Versuchen 13 und 14 wurde ferner unmittelbar hintereinander destillirtes Wasser und Wasser der Leitung angewandt; bei letzterem sank die Ablenkung auf weniger als die Hälfte.

Ein analoges Verhalten zeigen die Versuche 18 und 19 bei Zusatz von Kupfervitriol.

Die Ablenkung steht augenscheinlich in keiner einfachen Beziehung zum Widerstände, sondern hängt auch von der

sonstigen Beschaffenheit der angewandten Flüssigkeit ab. Obwohl die Kupfervitriollösung 1 nahe denselben Widerstand hatte, wie das Leitungswasser, zeigte sie doch keine Ablenkung mehr, und Lösung 2 trotz des gröfsen Widerstandes eine geringere als das Leitungswasser.

Sehr überrascht war ich von dem Ergebniss der Versuche 24, 25, 26. Ein anderer Ueberzug der inneren Röhrenwand übte kaum einen merklichen Einfluss aus, was man nach den Versuchen von Hrn. Quincke über Diaphragmen von verschiedenen Stoffen, welche sehr verschiedene elektromotorische Kräfte ergaben<sup>1)</sup>, nicht hätte erwarten sollen.

## 9.

Obwohl die Formel 1) für die Stromstärke in einem Stromkreise, von dem ein Theil sich bewegt, und die im Wesentlichen damit identische für die Diaphragmenströme mit den Beobachtungen von Hrn. Quincke und mir nicht übereinstimmt, so ist doch damit nach meiner Ansicht über die *Grundlagen* der Edlund'schen Theorie, insbesondere über seine Auffassung des galvanischen Widerstandes, nichts entschieden.

Denn die Formeln von Hrn. Edlund folgen aus seinen Grundanschauungen nicht mit zwingender Nothwendigkeit, vielmehr ist bei ihrer Herleitung ein sehr wesentlicher Umstand außer Acht gelassen, nämlich der elektrische Zustand der Flüssigkeit außerhalb der beiden Elektroden (wobei es gleichgültig ist, ob diese sich in der Röhre selbst oder in erweiterten Ansätzen befinden, wie bei der Zöllner'schen Versuchsanordnung).

Nach der Edlund'schen Theorie der Diaphragmenströme wird der freie Aether — dessen Bewegung eben der galvanische Strom seyn soll — durch die Bewegung der Flüssigkeit mit durch das Diaphragma (oder die enge Röhre) geführt, aber diese ganze übergeführte Aethermenge

1) Diese Annalen Bd. 110, S. 56.

*kehrt durch den Verbindungsdräht zu der Elektrode vor dem Diaphragma zurück.*

Wir hätten also vor und hinter dem Diaphragma eine unveränderliche Aethermenge, während in Folge des Flüssigkeitsstromes die Flüssigkeitsmenge vor dem Diaphragma ab- und hinter demselben zunimmt.

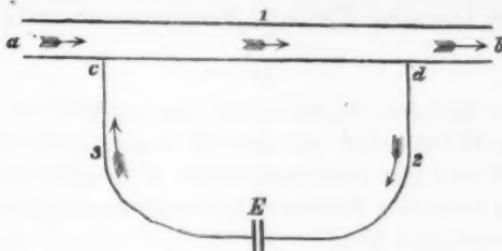
Vor dem Diaphragma wäre also eine größere Aethermenge als im normalen Zustande, also die Flüssigkeit positiv elektrisch, umgekehrt die Flüssigkeit hinter dem Diaphragma negativ elektrisch, welche elektrische Differenz sich auch durch den Verbindungsdräht ausgleichen und in demselben einen dem Diaphragmstrom entgegengesetzten Strom erzeugen müßte.

Diese Folgerung könnte man freilich durch die Annahme der freien Durchdringbarkeit aller Körper durch den Aether vermeiden, da aber die ganze Flüssigkeit bei den Versuchen von Isolatoren — Glas und Luft — eingeschlossen ist, hat auch diese Annahme etwas Mißliches, denn man sähe nicht ein, wie überhaupt ein Isolator existiren könnte.

Setzt man hingegen voraus, daß eine bewegte Flüssigkeit den in ihr enthaltenen freien Aether mit gleicher Geschwindigkeit fortführt, so würde in der Bewegung der Flüssigkeit *allein* nicht die Ursache der Diaphragmenströme gefunden werden können und die Bewegung eines Theiles des Stromkreises keine Änderung der Stromstärke im unbewegten Theile zur Folge haben, auch wenn man mit Hrn. Edlund den Widerstand der Stromstärke proportional setzt.

Es sey der principale Widerstand (s. Figur 3) in  $cd$ ,  $dE$ ,  $Ec$  resp.  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ , die Querschnitte dieser Stücke  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , die Geschwindigkeit des Aethers in ihnen  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ . Die Geschwindigkeit der Flüssigkeit sey  $H$ , die elektromotorische Kraft  $E$ , die Masse des freien Aethers in der Volumeneinheit  $\delta$ . Der Zustand sey stationär geworden, also muß in  $c$  gleichviel Aether zu- und abfließen.

Fig. 3.



Die fortfliessende Aethermenge beträgt in der Zeiteinheit  $\delta a_1 h_1$ ; wegen des Stromes in 3 fließt hinzu  $\delta a_3 h_3$ , und die Flüssigkeit bringt noch  $\delta a_1 H$  dazu. Also:

$$\delta a_1 h_1 = \delta a_1 H + \delta a_3 h_3$$

und analog:

$$\delta a_1 h_1 = \delta a_2 h_2 + \delta a_1 H$$

$$\delta a_2 h_2 = \delta a_3 h_3.$$

Diese Gleichungen lassen sich in die Doppelgleichung zusammenfassen:

$$\delta a_1 (h_1 - H) = \delta a_2 h_2 = \delta a_3 h_3,$$

$\delta a_2 h_2$  und  $\delta a_3 h_3$  sind die Stromstärken in 2 und 3, also der Widerstand in diesen Theilen nach Hrn. Edlund  $\delta a_2 h_2 w_2$  resp.  $\delta a_3 h_3 w_3$ .

Da es beim Widerstände nur auf die relative Geschwindigkeit ankommt, beträgt derselbe in 1:

$$\delta a_1 (h_1 - H) w_1.$$

Indem man die Summe der Widerstände gleich der elektromotorischen Kraft setzt<sup>1)</sup>, wird:

$$E = \delta a_1 (h_1 - H) w_1 + \delta a_2 h_2 w_2 + \delta a_3 h_3 w_3,$$

woraus mit Rücksicht auf die Doppelgleichung für die Stromstärke in den unbewegten Leiterstücken folgt:

$$\delta a_2 h_2 = i = \frac{E}{w_1 + w_2 + w_3},$$

1) *Théorie des phénomènes électriques* p. 29 ff.

also ebenso als wenn die Flüssigkeit ruhte. Die Stromstärke im bewegten Theile ist allerdings eine andere.

## 10.

Meine Untersuchungen haben also ergeben:

- 1) Im Widerspruch mit den Beobachtungen von Hrn. Edlund tritt bei Bewegung der Flüssigkeit ein Strom auf auch ohne Vorhandenseyn einer sonstigen elektromotorischen Kraft.
- 2) Hrn. Edlund's theoretische Formel, welche mit seiner Formel für die Diaphragmenströme identisch ist, stimmt nicht mit den Beobachtungsresultaten überein.
- 3) Hingegen ist hiedurch über die Grundlage der Theorie, insbesondere über die Proportionalität des Widerstandes mit der Stromstärke, nichts entschieden.

Breslau, den 13. August 1876.

## Nachschrift.

In dem mehrere Monate nach Abschluß dieser Arbeit erschienenen 8<sup>ten</sup> Ergänzungsbände dieser Annalen macht Hr. Chwolson (s. S. 153) die Bemerkung, daß die von Hrn. Edlund (diese Annalen Bd. 156, S. 251 ff.) beobachtete Ablenkung von einem Diaphragmenstrome herrühren könnte.

Dieselbe hätte dann aber, entgegen der Angabe von Hrn. Edlund (S. 271), auch ohne Einschaltung des Elektromotors auftreten müssen, und eben dieser Umstand, den Hr. Chwolson übersehen zu haben scheint, veranlaßte mich zu vorstehender Untersuchung, welche von den Edlund'schen abweichende Beobachtungsresultate gegeben hat.

Breslau, den 5. Januar 1877.

**IV. Ueber die Intensität des Fluoreszenzlichts;**  
**von E. Lommel.**

Um die Vorzüge und Nachtheile der Methoden, welche zur Ermittelung der Zusammensetzung des Fluoreszenzlichts angewendet werden, zu beurtheilen und die erhaltenen Resultate richtig zu deuten, ist es unerlässlich, auf gewisse Umstände Rücksicht zu nehmen, welche nicht nur die absolute Intensität des Fluoreszenzlichts, sondern auch die relative Intensität seiner Bestandtheile und demnach seine Farbenmischung je nach der gewählten Versuchsanordnung in verschiedener Weise beeinflussen. Da nämlich das Fluoreszenzlicht nicht blos von der Oberfläche, sondern auch aus dem Innern der fluorescirenden Substanz kommt, so ist die absorbirende Wirkung der letzteren, ihre Concentration, die Tiefe der strahlenden Schicht, die Entfernung, aus welcher beobachtet wird, und Anderes mehr, zu berücksichtigen. Einige der Gesichtspunkte, welche dabei in Betracht kommen, habe ich in meiner vorigen Arbeit über Fluoreszenz<sup>1)</sup> bereits angedeutet. Der Zweck der gegenwärtigen Untersuchung ist, unter Zugrundelegung eines aus der Erfahrung abstrahirten Fundamentalgesetzes diese Einflüsse mit Hülfe des Calculs genauer zu bestimmen.

1. Als Ausgangspunkt dient das folgende einfache Grundgesetz:

*Die Menge des Fluoreszenzlichts, welches ein Volumenelement einer fluorescirenden Substanz ausstrahlt, ist der von ihm absorbirten Menge des erregenden Lichtes proportional.*

Ein dünnes Bündel paralleler homogener Lichtstrahlen, dessen Lichtstärke für die Einheit des Querschnitts gleich 1 sey, treffe senkrecht auf die Oberfläche einer fluorescirenden Substanz; bezeichnet  $k$  den Extinctionscoëfficienten der letzteren für die betreffende Strahlengattung, so ist  $e^{-kx}$  die Lichtstärke, mit welcher das Lichtbündel in der

1) Diese Ann. Bd. CLIX, S. 514.

Tiefe  $r$  anlangt. Bedeutet ferner  $\omega$  den Querschnitt des dünnen Strahlenbündels, so ist die von dem Volumenelement  $\omega dr$  absorbierte Lichtmenge

$$ke^{-kr} \omega dr,$$

von welcher ein Bruchtheil  $\alpha$  zur Erregung von Fluoreszenzlicht, der Rest zu anderen Wirkungen (Erwärmung, innere Arbeit) verwendet wird. Bezeichnet man daher die von dem Volumenelement nach allen Richtungen ausstrahlende Menge Fluoreszenzlicht mit  $df$ , so ist die Gleichung

$$df = \omega \alpha k e^{-kr} dr$$

der mathematische Ausdruck des obigen Elementargesetzes.

Der Extinctionscoefficient  $k$  ist einerseits von der Wellenlänge  $\lambda$  des erregenden Lichts, andererseits von der Concentration der fluorescirenden Substanz abhängig, und wächst mit der letzteren. Der stets echt gebrochene Factor  $\alpha$  dagegen hängt nur von der Concentration ab. Wir haben Grund zu der Annahme, daß *der Factor  $\alpha$  mit wachsender Concentration fortwährend abnimmt*<sup>1)</sup>.

2. Der Ausdruck  $df$  entspricht der gesammten Energie des von dem Volumenelement ausgestrahlten zusammengesetzten Fluoreszenzlichts; wollen wir auf einen einzigen homogenen Bestandtheil desselben von der Wellenlänge  $\lambda$  unser Augenmerk richten, so haben wir noch einen Factor  $\alpha$  hinzuzufügen, welcher ausdrückt, ein wie großer Bruchtheil der Gesamtmenge des Fluoreszenzlichtes dieser Wellenlänge zugehört. Alsdann bezeichnet

$$df' = \omega \alpha \alpha k e^{-kr} dr$$

1) Theoretisch kann man sich von diesem Verhalten des Factors  $\alpha$  in folgender Weise Rechenschaft geben. Als Ursache der Fluoreszenz ist ein Schwingungsvorgang zu betrachten, der sich innerhalb eines jeden Moleküls unter der Einwirkung intramolecularer Kräfte vollzieht. Außerdem finden aber unter der Herrschaft intermolecularer Kräfte noch Bewegungen der Moleküle selbst statt, welche den Wärmezustand des Körpers bedingen. Die Energie des von einem Volumenelement absorbierten Lichts vertheilt sich zwischen diesen beiden Bewegungen. Je geringer nun bei wachsender Concentration der gegenseitige Abstand der Moleküle wird, desto größer wird der Einfluß der intermolecularen Kräfte und desto größer demnach der Bruchtheil des absorbierten Lichts, der für die letztere Bewegung verbraucht wird.

den der Wellenlänge  $\lambda'$  entsprechenden homogenen Bestandtheil des Fluorescenzlichtes. Es ist ersichtlich, daß die Summe sämmtlicher Werthe von  $a$ , welche den verschiedenen Werthen von  $\lambda'$  zugehören, der Einheit gleich seyn muß. Der Factor  $a$  ist von der Concentration unabhängig zu denken; als Function von  $\lambda'$  betrachtet, giebt er die Intensitätsverhältnisse an, mit welchen die einzelnen homogenen Farben in dem von einem jeden Volumenelemente ausgestrahlten Fluorescenzlicht vertreten sind, er repräsentirt sonach das von anderweitigen Einflüssen noch nicht modifieirte, also sozusagen das *moleculare* oder *typische* Fluorescenzspectrum.

3. Durch das von dem Volumenelemente  $\omega dr$  ausstrahlende Fluorescenzlicht werde nun ein Flächenelement  $\omega$  beleuchtet, das außerhalb der fluorescirenden Substanz im Abstande  $r_0$  von ihrer Oberfläche auf dem Wege der einfallenden Strahlen selbst und senkrecht zu ihnen liegt; denkt man sich das Flächenstückchen  $\omega'$  hinlänglich klein, so wird es von sämmtlichen von dem betrachteten Volumenelement aus zu ihm gelangenden Strahlen senkrecht getroffen, und die Lichtmenge von der Wellenlänge  $\lambda''$ , welche es empfängt, würde

$$\omega \omega' a \alpha k \frac{e^{-kr}}{(r_0 + r)^2} dr$$

seyn, falls das Fluorescenzlicht in der fluorescirenden Substanz keine Absorption erlitte; findet aber letztere statt, und ist  $k'$  der entsprechende Extinctionscoefficient, so hat man vorstehenden Ausdruck noch mit  $e^{-k'r}$  zu multipliciren, worin  $k'$  von  $k$  nur dadurch abweicht, daß  $\lambda'$  an die Stelle von  $\lambda$  tritt. Die Lichtmenge, welche das Volumenelement  $\omega dr$  nach dem Flächenelement  $\omega'$  sendet, ist demnach

$$dF = \omega \omega' a \alpha k \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^2} dr,$$

und die Beleuchtung, welche  $\omega'$  von sämmtlichen fluorescirenden Volumentheilchen empfängt, ist

$$F = \omega \omega' a \alpha k \int_0^{\infty} \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^2} dr,$$

wenn  $R$  die Tiefe der fluorescirenden Schicht bezeichnet. Denken wir uns unter  $\omega'$  ein Theilchen des Spectroskopspaltes oder der Pupille, so stellt dieser Ausdruck die Intensität des Fluorescenzlichtes von der Wellenlänge  $\lambda$  vor, mit welcher dasselbe zu unserer Wahrnehmung gelangt.

Das im fluorescirenden Körper absorbierte Fluorescenzlicht muss seinerseits ebenfalls wieder Fluorescenz erregen. Die Thatsache aber, dass ein auf die Oberfläche einer fluorescirenden Substanz geworfener Schatten völlig dunkel und scharfbegränzt erscheint, ferner die Deutlichkeit der Fraunhofer'schen Linien im fluorescirenden Spectrum, liefert den Beweis, dass diese indirekte Erregung im Vergleiche mit der in obiger Formel ausgedrückten directen Erregung verschwindend klein ist und daher außer Acht gelassen werden kann.

4. Ohne vorläufig auf die Berechnung des vorliegenden transcendenten Integrals einzugehen, was jedoch weiter unten geschehen soll, können wir hinsichtlich desselben sofort Folgendes erkennen. Der stets positive Werth des Integrals nimmt ab mit wachsendem  $k$ , und nähert sich, indem  $k$  unendlich groß wird, asymptotisch der Null. Der Werth des Productes

$$k \int_0^R \frac{e^{-(k+r)r}}{(r_0 + r)^2} dr$$

dagegen nimmt mit wachsendem  $k$  von Null an fortwährend zu, jedoch weniger rasch als  $k$  selbst, und nähert sich (wie später bewiesen wird) bei unendlich zunehmendem  $k$  einem endlichen Gränzwerth. Aus diesem Verhalten entnehmen wir den folgenden aus der Erfahrung schon länger bekannten Satz:

*Im fluorescirenden Spectrum entspricht jedem Maximum der Absorption ein an derselben Stelle gelegenes Maximum der Fluorescenz. Die Intensitätsunterschiede der Fluorescenzmaxima sind jedoch weniger schroff als die der Absorptionsmaxima, d. h. die schwächeren Maxima treten im fluores-*

cirenden Spectrum verhältnismäsig stärker hervor als im Absorptionsspectrum.

Daraus erklärt es sich, daß das Daseyn schwacher Absorptionsmaxima im fluorescirenden Spectrum manchmal leichter wahrgenommen wird als im Absorptionsspectrum selbst. So wurde ich z. B. auf den dritten nur schwierig erkennbaren Streifen im Absorptionsspectrum des Chamaeleinblaus erst durch den entsprechenden hellen Fluorescenzstreifen aufmerksam.

5. Nachdem wir soeben die Concentration als constant, die Wellenlänge  $\lambda$  des erregenden Lichts und mit ihr den Extinctionscoëfficienten  $k$  als veränderlich betrachtet haben, denken wir uns jetzt  $\lambda$  als constant und die Concentration als variabel. Alsdann muß der nur von letzterer abhängige Factor  $\alpha$  ebenfalls in Betracht gezogen werden. Da der Factor  $\alpha$  nach unserer Voraussetzung mit wachsender Concentration abnimmt, der Coëfficient  $k$  aber zunimmt, so muß der Ausdruck

$$\alpha k \int_0^R \frac{e^{-(k+\lambda')r}}{(r_0 + r)^2} dr$$

für einen gewissen Werth der Concentration zu einem Maximum werden. Es ergiebt sich daher der durch die Erfahrung ebenfalls bestätigte Satz:

*Mit wachsender Concentration nimmt die Intensität des Fluorescenzlichts anfangs bis zu einem Maximum zu und dann wieder ab.*

6. Wir vergleichen nun die Menge des Fluorescenzlichts, welche von einer oberflächlichen Schicht, deren Dicke  $\varrho$  sey, ausstrahlt, mit derjenigen, welche aus gröfserer Tiefe dringt. Das Verhältnis dieser beiden Lichtmengen wird dargestellt durch den Quotienten

$$\frac{\int_0^\varrho \frac{e^{-(k+\lambda')r}}{(r_0 + r)^2} dr}{\int_\varrho^\infty \frac{e^{-(k+\lambda')r}}{(r_0 + r)^2} dr} = \frac{A}{B},$$

worin  $R > \varrho$  zu denken ist. Lassen wir nun  $k$  um  $x$  wachsen, so geht dieses Verhältnis über in

$$\frac{A'}{B'}$$

wo

$$A' = \int_0^R \frac{e^{-(k+k'+x)r}}{(r_0 + r)^2} dr > e^{-\varphi_0} \cdot A$$

$$\text{und } B' = \int_R^\infty \frac{e^{-(k+k'+x)r}}{(r_0 + r)^2} dr < e^{-\varphi_0} \cdot B$$

ist. Aus diesen beiden Ungleichheiten folgt aber

$$\frac{A'}{B'} > \frac{A}{B},$$

und wir gelangen zu folgendem Satz:

*Das Verhältnis des von einer oberflächlichen Schicht ausgesendeten Fluoreszenzlichts zu dem aus dem Innern kommenden wird mit wachsender Absorption größer.*

Der Zuwachs  $x$  kann auf verschiedene Weise zu Stande kommen. Nämlich erstens wenn  $k$  allein um  $x$  wächst, d. h. wenn man eine stärker erregende Strahlengattung zur Anwendung bringt; zweitens, wenn  $k'$  allein wächst, d. i. wenn man einen stärker absorbirbaren Bestandtheil des Fluoreszenzlichts in Betracht zieht; drittens endlich, wenn  $k$  und  $k'$  zugleich wachsen, etwa dadurch, dass die Concentration erhöht wird. Im ersten Falle wird die absolute Beleuchtung des Flächenelementes  $\omega'$  verstärkt, im zweiten wird sie, je nach dem Verhalten des Factors  $a$ , geschwächt oder verstärkt, im dritten Fall wird sie verstärkt, so lange die dem Maximum der Fluoreszenz entsprechende Concentration noch nicht erreicht ist. In allen drei Fällen aber wird der Anteil, den die oberflächlichen Schichten an dieser Beleuchtung haben, größer als vorher.

7. Betrachten wir ferner die Änderung des Verhältnisses  $\frac{A}{B}$ , wenn die Entfernung  $r_0$  um  $r_1$  zunimmt. Als dann haben wir

$$A'' = \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r_1 + r)^2} dr < \left( \frac{r_0 + \varrho}{r_0 + r_1 + \varrho} \right)^2 \cdot A$$

$$\text{und } B' = \int_{\varrho}^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r_1 + r)^2} dr > \left( \frac{r_0 + \varrho}{r_0 + r_1 + \varrho} \right)^2 \cdot B,$$

$$\text{weil } \frac{1}{r_0 + r_1 + r} > \frac{r_0 + \varrho}{r_0 + r_1 + \varrho} \cdot \frac{1}{r_0 + r}$$

ist, je nachdem  $r \leq \varrho$  ist. Daraus folgt

$$\frac{A''}{B''} < \frac{A}{B}.$$

*Das Verhältnis des von der oberflächlichen Schicht herührenden Fluoreszenzlichts zu dem aus grösserer Tiefe kommenden wird also um so kleiner, aus je grösserer Entfernung man beobachtet.*

8. Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf je einen einzigen Bestandtheil des Fluoreszenzlichts von der Wellenlänge  $\lambda'$  und dem zugehörigen Coëfficienten  $k'$ ; jetzt wollen wir die Intensitäten mit einander verglichen, mit welchen zwei verschiedene Strahlengattungen, deren Attribute  $\lambda'$ ,  $k'$ ,  $a'$ , und  $\lambda''$ ,  $k''$ ,  $a''$  seyen, im Fluoreszenzlicht vertreten sind, und dabei annehmen, dass der erstere Strahl der absorptionsfähiger, d. h. dass  $k' > k''$  sey. Das Intensitätsverhältnis der beiden Strahlengattungen ist alsdann

$$\frac{a'}{a''} \cdot \frac{\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^2} dr}{\int_0^R \frac{e^{-(k+k'')r}}{(r_0 + r)^2} dr}.$$

Da  $k' > k''$ , so ist das Verhältnis der beiden Integrale  $< 1$ ; lassen wir nun, während  $k'$  und  $k''$  ungeändert bleiben, den Extinctionscoëfficienten  $k$  des erregenden Lichtes wachsen, so nähert sich mit dem Verhältnis  $\frac{k+k'}{k+k''}$  auch dasjenige der beiden Integrale der Einheit. Der obige Ausdruck nimmt also zu mit wachsendem  $k$ , indem er sich dem Verhältnis  $\frac{a'}{a''}$  nähert. Wir sehen also, dass mit wachsender Absorptionsfähigkeit der erregenden Strahlen die Farbenmischung des Fluoreszenzlichts sich ändert,

indem dessen stärker absorbirbare Bestandtheile einen verhältnismäsig grösseren Anteil an seiner Zusammensetzung gewinnen. Mit andern Worten kann man auch sagen: Das Intensitätsverhältnis der einzelnen Farben im Spectrum des Fluorescenzlichts nähert sich, indem man zu stärker erregenden Strahlen übergeht, demjenigen im typischen Fluorescenzspectrum. Projicirt man daher ein Sonnenspectrum auf die fluorescirende Substanz, so tritt die ihr eigenthümliche Fluorescenzfarbe am reinsten an den Stellen der Fluorescenzmaxima hervor, während sie in den schwächer fluorescirenden Partien eine andere durch verhältnismäsiges Zurücktreten der stärker absorbirbaren Bestandtheile modifizierte Nuance zeigt. Man kann dieses Verhalten, wie ich früher schon angegeben habe<sup>1)</sup>, sehr deutlich an dem Naphthalinroth und dem Eosin beobachten; im fluorescirenden Spectrum des ersten erscheinen nämlich die hellsten Stellen, welche den Maximis der Absorption entsprechen, leuchtend orangegelb, die weniger hellen dagegen mehr röthlich, weil hier die stärker absorbirbaren gelben und grüngelben Strahlen in geringerem Verhältnis vertreten sind. Ebenso zeigen im fluorescirenden Spectrum des Eosins die Maxima eine hell erbsengrüne, die minder lichtstarken Stellen eine mehr bräunlichgrüne Färbung.

9. Wenn die Concentration zunimmt, so wachsen  $k$ ,  $k'$  und  $k''$  gleichzeitig in dem nämlichen Verhältniss. Wir schreiben daher jetzt den obigen Quotienten in folgender Form:

$$\frac{a'}{a''} \cdot \frac{\int_0^R \frac{e^{-r(k+k')}}{(r_0 + r)^2} dr}{\int_0^R \frac{e^{-r(k+k'')}}{(r_0 + r)^2} dr}.$$

Ist darin  $\nu = 0$ , so ist das Verhältnis der beiden Integrale gleich der Einheit, mit wachsendem  $\nu$  aber nähert es sich dem Werthe  $\frac{k+k''}{k+k'}$  (s. unten) und nimmt sonach fortwährend ab. Die Farbenmischung des Fluorescenzlichts

1) Diese Ann. Bd. CLIX.

ändert sich also mit wachsender Concentration derart, dass die stärker absorbirbaren Bestandtheile immer mehr gegen die minder absorbirbaren zurücktreten. Auch diese Folgerung wird durch die Erfahrung bestätigt: die Fluorescenzfarbe des Naphthalinroths z. B. zieht sich bei concentrirteren Lösungen immer mehr ins Röthliche, diejenige des Eosins ins Olivengrüne.

10. Nehmen wir ferner an, dass sich  $r_0$  in  $\mu r_0$  ändere, so haben wir, wenn  $\mu r'$  statt  $r$  eingeführt wird:

$$\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(\mu r_0 + r)^2} dr = \frac{1}{\mu} \int_0^{\frac{R}{\mu}} \frac{e^{-\mu(k+k')r'}}{(r_0 + r')^2} dr',$$

und demnach

$$\frac{\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(\mu r_0 + r)^2} dr}{\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(\mu r_0 + r)^2} dr} = \frac{\int_0^{\frac{R}{\mu}} \frac{e^{-\mu(k+k')r'}}{(r_0 + r')^2} dr'}{\int_0^{\frac{R}{\mu}} \frac{e^{-\mu(k+k')r'}}{(r_0 + r')^2} dr'}$$

Man sieht daraus, dass das Verhältnis der beiden Integrale, welches = 1 ist für  $\mu = 0$ , bei wachsendem  $\mu$  ähnlich wie im vorigen Fall abnimmt bis  $\frac{k+k'}{k+k''}$ , und erkennt somit, dass das Fluorescenzlicht bei Beobachtung aus gröfserer Entfernung eine andere Farbenmischung zeigt, in welcher die absorbirbareren Strahlen in geringerem Verhältniss vertreten sind.

11. Bisher wurde angenommen, dass das Fluorescenzlicht auf demselben Wege zurückkehre, auf welchem das erregende Licht eindrang, oder dass Beleuchtung und Beobachtung von derselben Seite aus erfolge. Dieser Fall ist realisiert bei Hagenbach's erster Methode<sup>1)</sup>), oder überhaupt, wenn die von vorn oder von oben beleuchtete Substanz auch von vorn oder von oben betrachtet wird.

1) Diese Ann. Bd. CXLVI, S. 67.

Ist aber die Beobachtungsrichtung derjenigen der einfallenden Strahlen gerade entgegengesetzt, wie bei der von Herrn Lubarsch<sup>1)</sup>) angewendeten Methode des „fluorescirenden Oculars“, wo eine strahlende Schicht, deren Dicke gleich  $R$  sey, sich zwischen der Lichtquelle und dem Beobachter befindet und demnach von hinten betrachtet wird, so hat das erregende dünne Strahlenbündel bis zu dem in der Tiefe  $r$  gelegenen Volumenelement in der Substanz den Weg  $R - r$  zurückzulegen. In dem Ausdruck  $F$  für die Intensität des Fluoreszenzlichts muß demnach jetzt im Exponenten unter dem Integralzeichen die Größe  $k$  den Factor  $R - r$  statt  $r$  erhalten, und der Ausdruck lautet jetzt:

$$F_1 = \omega \omega' a \alpha k \int_0^R \frac{e^{-k(R-r)-kr}}{(r_0 + r)^2} dr.$$

Da  $F'$  stets kleiner ist als  $F$ , so ist die Intensität des Fluoreszenzlichts, welche zur Beobachtung gelangt, geringer als wenn man die nämliche Schicht von vorn beobachtet. Auch läßt sich zeigen, daß, wenn  $k' > k''$ ,

$$\frac{\int_0^R \frac{e^{-k(R-r)-k'r}}{(r_0 + r)^2} dr}{\int_0^R \frac{e^{-k(R-r)-k''r}}{(r_0 + r)^2} dr} < \frac{\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^2} dr}{\int_0^R \frac{e^{-(k+k'')r}}{(r_0 + r)^2} dr}$$

ist, d. h. daß bei dieser Art zu beobachten die stärker absorbirbaren Bestandtheile des Fluoreszenzlichts verhältnismäßig mehr geschwächt sind als im vorhergehenden Fall. Diese Methode ist daher, namentlich wenn es sich um die Wahrnehmung gerade dieser Bestandtheile handelt, eine unvortheilhafte.

12. Wenn überhaupt der Weg, den die Strahlen des Fluoreszenzlichts nach dem zu beleuchtenden Flächenelemente  $\omega'$  einschlagen, abweicht von der Richtung der erregenden Strahlen, so ist die Lichtmenge, welche das

1) Diese Ann. Bd. CLIII, S. 420.

Volumenelement  $d\omega$  nach dem Flächenelemente  $\omega'$  sendet, ausgedrückt durch

$$dF = \omega' a \alpha k \frac{e^{-kr'-kr}}{(r_0 + r)^3} \cos \varphi d\omega,$$

worin  $r'$  die Weglänge bedeutet, welche das zum Elemente  $d\omega$  gelangende dünne Strahlenbündel des erregenden Lichts innerhalb der Substanz zu durchlaufen hat,  $r$  den Weg des von  $d\omega$  ausstrahlenden Fluoreszenzlichts innerhalb und  $r_0$  seinen Weg außerhalb der Substanz bis zum Flächenelement  $\omega'$  und  $\varphi$  den Winkel, den die letztere Richtung mit der Normale dieses Flächenelements bildet, wobei jedoch von den Effecten der Lichtbrechung abgesehen werden soll. Dieser Ausdruck würde, um die Beleuchtung des Flächenelementes  $\omega'$  zu erhalten, über sämmtliche fluorescirende Volumenelemente zu integriren seyn. In dieser Allgemeinheit gehört die Aufgabe zu den verwickeltesten photometrischen Problemen.

13. Wir begnügen uns hier damit, den Fall zu betrachten, dass die Beobachtungsrichtung zu derjenigen der erregenden Strahlen senkrecht stehe, indem wir zugleich bloß die in der Beobachtungsrichtung selbst, d. i. auf der Normale des Flächenelementes  $\omega'$  gelegenen fluorescirenden Volumenelemente berücksichtigen. Alsdann ist der Ausdruck

$$dF = \omega' a \alpha k \frac{e^{-kr'-kr}}{(r_0 + r)^3} dr dr' dz,$$

worin  $r$  und  $r'$  als rechtwinklige Coordinaten, und zwar  $r'$  als gegebene Function von  $r$ , zu betrachten sind, während  $z$  die dritte zur Ebene der  $r$  und  $r'$  senkrechte Coordinate vorstellt, nach  $r$  von  $r = 0$  bis  $r = R$  zu integriren. Wir haben demnach, wenn wir den dem Elemente  $\omega'$  zugewandten Querschnitt  $dr' dz$  der Volumenelemente mit  $\omega$  bezeichnen:

$$F_2 = \omega \omega' a \alpha k \int_0^R \frac{e^{-kr'-kr}}{(r_0 + r)^3} dr.$$

Wäre z. B. der Grundriss des fluorescirenden Volumens ein rechtwinkliges Dreieck, dessen eine Kathete  $R$  mit der



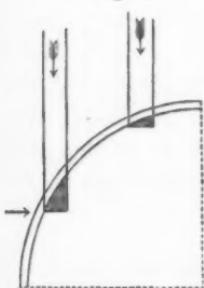
Beobachtungsrichtung, die andere demnach mit der Richtung der erregenden Strahlen zusammenfällt, und das seine Spitze mit dem Winkel  $\beta$  dem Beobachter zuwendet; (sowohl in dieser als in der folgenden Figur ist die Richtung der einfallenden Strahlen durch einen befiederten, die Beobachtungsrichtung durch einen unbefiederten Pfeil angedeutet), so hat man  $r' = r \operatorname{tg} \beta$ , und

$$F_2 = \omega \omega' a \alpha k \int_0^R \frac{e^{-(k \operatorname{tg} \beta + k')r}}{(r_0 + r)^2} dr$$

ist die Beleuchtung, welche das Flächenelement  $\omega'$  von den längs der Kathete  $R$  gereihten Volumenelementen empfängt. Dieser Ausdruck stimmt für  $\beta = 45^\circ$  mit dem Ausdruck  $F$ , welche für die Beobachtung von vorn gilt, vollkommen überein; für  $\beta < 45^\circ$  ist er größer, für  $\beta > 45^\circ$  kleiner als dieser.

Dieser Fall des keilförmigen Volumens, und zwar mit veränderlichem Winkel  $\beta$ , ist angenähert verwirklicht in derjenigen Beobachtungsmethode, welche ich bei meinen Untersuchungen über Fluorescenz<sup>1)</sup> in Anwendung gebracht habe. Die fluorescirende Lösung befindet sich nämlich in einer cylindrischen Flasche von weißem Glase; das erregende Licht fällt, durch eine Linse concentrirt, auf denjenigen Quadranten der Flasche, welcher sowohl der Lichtquelle als dem zur Seite aufgestellten Beobachter zugewendet ist (Figur 2), und der auf der Flüssigkeit erscheinende fluorescirende kleine Lichtfleck oder vielmehr das zu ihm gehörige keilförmige Volumenstückchen wird durch das Spectroskop, dessen Spaltrohr senkrecht zur Richtung der erregenden Strahlen steht, beobachtet. Läßt man das Lichtbündel, dessen Strahlen wir zur Vereinfachung der

Fig. 2.



gen Quadranten der Flasche, welcher sowohl der Lichtquelle als dem zur Seite aufgestellten Beobachter zugewendet ist (Figur 2), und der auf der Flüssigkeit erscheinende fluorescirende kleine Lichtfleck oder vielmehr das zu ihm gehörige keilförmige Volumenstückchen wird durch das Spectroskop, dessen Spaltrohr senkrecht zur Richtung der erregenden Strahlen steht, beobachtet. Läßt man das

1) Diese Ann. Bd. CXLIII und Bd. CLIX.

Betrachtung als unter sich parallel ansehen wollen (Fig. 2), immer mehr seitwärts gegen den Beobachter zu, also immer schiefer auf die Flaschenwand treffen, so wird der Winkel  $\beta$  des Keiles immer größer; eine merkliche Veränderung der Intensität des Fluoreszenzlichts, wie sie oben für den Ausdruck  $F_2$  signalisiert wurde, tritt jedoch nicht ein; jener Ausdruck bezieht sich nämlich nur auf die in der Beobachtungsrichtung selbst gelegenen Volumenelemente, während in Wirklichkeit auch die übrigen Elemente des Keils Licht nach dem Spectroskopspalt senden; da nun das Volumen des Keilchens mit wachsendem  $\beta$  zunimmt, so wird die vermöge des Ausdrucks  $F_2$  eintretende Intensitätsminderung durch die größere Anzahl der wirk samen Theilchen mehr oder weniger compensirt. Dagegen bleibt eine andere durch den Ausdruck  $F_2$  angezeigte Wirkung der Vergrößerung des Winkels  $\beta$  bestehen. Da nämlich  $k \operatorname{tg} \beta$  mit wachsendem  $\beta$  zunimmt, während  $k'$  ungeändert bleibt, so tritt der bereits oben (8) betrachtete Fall ein, und wir erkennen, *dass das Verhältnis der stärker absorbirbaren Bestandtheile des Fluoreszenzlichts zu den minder absorbirbaren um so größer wird und das beobachtete Fluorescenzspectrum dem typischen um so näher kommt, je schiefer die einfallenden Strahlen auf die Flaschenwand treffen.* Außerdem besitzt diese Methode den sehr wesentlichen Vortheil, dass man den Spalt des Spectroskops der fluorescirenden Substanz sehr nahe bringen kann, ein Umstand, der nicht nur zur Vergrößerung der absoluten Intensität des Fluoreszenzlichts, sondern auch auf dessen Farbenmischung in gleich günstigem Sinne wirkt, wie der vorhin erwähnte. Diese Beobachtungsmethode zeichnet sich also dadurch aus, dass sie die Wahrnehmbarkeit der durch Absorption am meisten geschwächten Bestandtheile des Fluoreszenzlichts, welche bei andern Methoden der Wahrnehmung so leicht entgehen, möglichst erhöht.

#### 14. Es bleibt nun noch übrig, das Integral

$$\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^3} dr,$$

welches in der vorstehenden Untersuchung die Hauptrolle spielt, genauer zu betrachten, und einige seiner Eigen-schaften, von welchen bereits Gebrauch gemacht wurde, analytisch abzuleiten. Dasselbe lässt sich leicht auf den Integrallogarithmen zurückführen. Man erhält nämlich durch theilweise Integration nach dem Factor  $(r_0 + r)^{-2}$

$$\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^2} dr = \frac{1}{r_0} - \frac{e^{-(k+k')R}}{r_0 + R} - (k+k') \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{r_0 + r} dr,$$

während, wenn  $(k+k')(r_0 + r) = z$  gesetzt wird,

$$\begin{aligned} \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{r_0 + r} dr &= e^{(k+k')r_0} \int_0^{e^{(k+k')(r_0+R)} - z} \frac{dz}{z} \\ &= e^{(k+k')r_0} (li e^{-(k+k')(r_0+R)} - li e^{-(k+k')r_0}) \end{aligned}$$

sich ergiebt. Es ist demnach

$$\begin{aligned} \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^2} dr &= \frac{1}{r_0} - \frac{e^{-(k+k')R}}{r_0 + R} \\ &- (k+k') e^{(k+k')r_0} (li e^{-(k+k')(r_0+R)} - li e^{-(k+k')r_0}), \end{aligned}$$

oder in mehr symmetrischer Schreibweise

$$\begin{aligned} \int_0^R \frac{e^{-(k+k')R}}{(r_0 + r^2)} dr &= \frac{1}{r_0} (1 + (k+k')r_0 e^{(k+k')r_0} li e^{-(k+k')r_0}) \\ &- \frac{e^{-(k+k')R}}{r_0 + R} (1 + (k+k')(r_0 + R) e^{-(k+k')(r_0+R)} li e^{-(k+k')(r_0+R)}). \end{aligned}$$

Unter Benutzung der Soldner'schen Tabelle des Integrallogarithmus<sup>1)</sup> könnte der Werth des Integrals mittelst dieser Formel leicht berechnet werden, falls die in ihr vorkommenden Größen numerisch gegeben wären.

15. Für sehr grosse Werthe von  $k+k'$  reicht jedoch die Soldner'sche Tabelle nicht mehr aus. Alsdann kann man sich der folgenden Entwicklung bedienen:

1) Soldner, *Théorie et Tables d'une nouvelle fonction transcendante*. Munich. 1809. Klügel's math. Wörterbuch, Suppl.-Band II.

$$\int_{r_0}^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0+r)^{n+3}} dr = \sum_{p=0}^{\infty} \frac{(-1)^p (p+1)!}{(k+k')^{p+1}} \left( \frac{1}{r_0^{p+2}} - \frac{e^{-(k+k')R}}{(r_0+R)^{p+2}} \right) \\ - \frac{(-1)^n (n+2)!}{(k+k')^{n+1}} \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r+r_0)^{n+3}} dr,$$

welche durch wiederholte theilweise Integration nach dem Factor  $e^{-(k+k')}$  leicht erhalten wird. Die Reihe  $\Sigma$  in's Unendliche fortgesetzt würde zwar divergiren; zu numerischen Rechnungen namentlich für sehr grosse Werthe von  $k+k'$  ist dieselbe gleichwohl brauchbar, da sie als sogenannte halbconvergente Reihe die Eigenschaft besitzt, daß ihr Restglied dem absoluten Werthe nach stets kleiner ist als das letzte in Rechnung gezogene Reihenglied. Es ist nämlich

$$\int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0+r)^{n+3}} dr < \int_0^R \frac{dr}{(r_0+r)^{n+3}}$$

das ist

$$< \frac{1}{n+2} \left( \frac{1}{r_0^{n+2}} - \frac{1}{(r_0+R)^{n+2}} \right),$$

und demnach um so mehr

$$\frac{(n+2)!}{(k+k')^{n+1}} \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0+r)^{n+3}} dr < \frac{(n+1)!}{(k+k')^{n+1}} \left( \frac{1}{r_0^{n+2}} - \frac{e^{-(k+k')R}}{(r_0+R)^{n+2}} \right).$$

In dem Ausdruck zur Rechten der letzten Ungleichheit erkennt man aber das letzte Glied der Reihe  $\Sigma$ .

16. Für den vorliegenden Zweck ist von besonders grosser Bedeutung der Gang der Werthe nicht sowohl des Integrales selbst, als vielmehr des Productes

$$k \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0+r)^2} dr$$

für ein veränderliches  $k$ . Nehmen wir zunächst die obere Grenze des Integrals als unendlich gros an, so haben wir, indem wir zur Rechten  $x$  statt  $(k+k')r_0$  schreiben:

$$k \int_0^\infty \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0+r)^2} dr = \frac{k}{r_0} (1 + x e^x \operatorname{li} e^{-x}) = \frac{k}{r_0} \Phi(x).$$

Der Ausdruck  $xe^x \ln e^{-x}$  nimmt sowohl für  $x = 0$  als für  $x = \infty$  die Form  $0 \cdot \infty$  an, deren Werth sich in beiden Fällen leicht bestimmen lässt. Man findet nämlich

$$xe^x \ln e^{-x} = 0 \quad \text{für } x = 0$$

und

$$xe^x \ln e^{-x} = -1 \quad \text{für } x = \infty,$$

und somit

$$\varphi(0) = 1 \quad \text{und} \quad \varphi(\infty) = 0.$$

Das Product  $\frac{k}{r_0} \varphi(x)$  ist also  $= 0$  für  $k = 0$ , für  $k = \infty$  aber erscheint es in der Form  $\infty \cdot 0$ , deren Werth in folgender Weise ermittelt werden kann. Es ist, wenn  $\frac{x}{r_0} - k'$  statt  $k$  gesetzt wird

$$\frac{k}{r_0} \varphi(x) = \frac{x}{r_0} \varphi(x) - \frac{k'}{r_0} \varphi(x);$$

da das mit  $k'$  multiplizierte Glied, wenn  $k'$  nicht unendlich ist, für  $x = \infty$  verschwindet, bleibt nur noch das erste Glied zu untersuchen; es ist aber

$$x \varphi(x) = x(1 + xe^x \ln e^{-x}) = \frac{e^{-x} + x \ln e^{-x}}{e^{-x}} = \frac{0}{0} \quad \text{für } x = \infty.$$

Differentiiert man Zähler und Nenner der letzten Form, so erhält man

$$-\frac{\ln e^{-x}}{e^{-x} \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{x^2} \right)} \quad \text{oder} \quad -\frac{x e^x \ln e^{-x}}{1 + \frac{1}{x}}.$$

Da der Zähler des letzteren Ausdrucks  $= -1$ , sein Nenner  $= 1$  wird für  $x = \infty$ , so nimmt derselbe den Werth 1 an, und wir haben

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{k}{r_0} \varphi(x) = \frac{1}{r_0^2} \quad \text{für } k = \infty.$$

Demselben Gränzwerth strebt das obige Product auch dann zu, wenn die obere Gränze  $R$  des Integrals beliebig positiv ist, wie ein Blick auf die Gleichung

$$k \int_0^R \frac{(k+k')r}{(r_0 + r^2)} dr = \frac{k}{r_0} \varphi(x) - \frac{k e^{-(k+k')x}}{r_0 + R} \varphi(x+y),$$

wo  $y$  statt  $(k+k')R$  steht, sofort zeigt. Wir haben also

$$\lim_{k \rightarrow \infty} k \int_0^{\frac{e^{-\nu(k+k')r}}{(r_0+r)^2}} dr = \frac{1}{r_0^2} \quad \text{für } k = \infty.$$

Dasselbe Resultat ergiebt sich auch unmittelbar aus der obigen halbconvergenten Entwicklung; aus letzterer entnehmen wir auch, dass, wenn  $k$  und  $k'$  vermöge eines gemeinschaftlichen Factors  $\nu$  gleichzeitig unendlich werden, dass für  $\nu = \infty$

$$\lim_{\nu \rightarrow \infty} \nu k \int_0^{\frac{e^{-\nu(k+k')r}}{(r_0+r)^2}} = \frac{k}{k+k'} \cdot \frac{1}{r_0^2}$$

wird.

17. Von dem Anfangswerte 0 bis zu dem eben ermittelten Gränzwerth nimmt unser Ausdruck mit wachsendem  $k$  fortwährend zu. Nehmen wir, um dies nachzuweisen, die obere Gränze des Integrals zuerst wieder unendlich groß an, so dass wir nur  $\frac{k}{r_0} \Phi(x)$  zu betrachten haben, so ist

$$\frac{\partial}{\partial k} \left( \frac{k}{r_0} \Phi(x) \right) = \frac{1}{r_0} \Phi(x) + k \frac{\partial \Phi(x)}{\partial x}.$$

Nun ist

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi(x)}{\partial x} &= 1 + x e^x \ln e^{-x} + e^x \ln e^{-x} \\ &= \Phi(x) + \frac{\Phi(x) - 1}{x}; \end{aligned}$$

folglich

$$\frac{\partial}{\partial k} \left( \frac{k}{r_0} \Phi(x) \right) = \left( \frac{1}{r_0} + \frac{k}{x} + k \right) \Phi(x) - \frac{k}{x}.$$

Dieser Ausdruck ist  $= \frac{1}{r_0}$  für  $k = 0$  und  $= 0$  für  $k = \infty$ , und wir behaupten, dass derselbe fortwährend positiv bleibt; hierzu wäre erforderlich, dass stets

$$\Phi(x) > \frac{1}{x + 1 + \frac{x}{k r_0}},$$

oder, wenn in dem Bruche des Nenners das  $x$  durch  $k r_0 + k' r_0$  ersetzt wird, dass

$$\Phi(x) > \frac{1}{x + 2 + \frac{k'}{k}}$$

bleibe. Nun ist aber, wie man sich mit Hilfe der Soldner-schen Tabelle überzeugen kann, für jedes positive  $x$

$$\Phi(x) > \frac{1}{x+2},$$

also wird um so mehr die vorhergehende Ungleichung erfüllt seyn. Der erste Differentialquotient unserer Function ist also stets *positiv*.

Der zweite Differentialquotient ergiebt sich wie folgt:

$$\frac{\partial^2}{\partial k^2} \left( \frac{k}{r_0} \Phi(x) \right) = \left( kr_0 + 2 + 2 \frac{kr_0 + 1}{x} \right) \Phi(x) - \frac{kr_0 + 2}{x};$$

derselbe ist negativ, wenn

$$\Phi(x) < \frac{1}{x+2 \frac{kr_0 + 1}{kr_0 + 2}}$$

ist. Dieser Ungleichheit wird aber stets genügt, denn durch Vergleichung mit der Tabelle überzeugt man sich, daß für jeden positiven Werth von  $x$

$$\Phi(x) < \frac{1}{x+2 \frac{x+1}{x+2}}$$

ist, also, weil

$$\frac{kr_0 + 1}{kr_0 + 2} = \frac{x+1 - k'r_0}{x+2 - k'r_0} < \frac{x+1}{x+2},$$

um so mehr die vorige Ungleichheit gelten muß. Der zweite Differentialquotient ist demnach stets negativ; der erste Differentialquotient nimmt daher bei wachsendem  $k$  von dem Werthe  $\frac{1}{r_0}$  (für  $k=0$ ) bis zu Null (für  $k=\infty$ ) fortwährend ab.

18. Kehren wir nun wieder zur allgemeinen Form unseres Intensitätsausdrucks, in welcher die obere Gränze  $R$  des Integrals beliebig positiv ist, zurück, so haben wir

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial k} \left( k \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0+r)^2} dr \right) &= \frac{\partial}{\partial k} \left( \frac{k}{r_0} \Phi(x) \right) \\ &- e^{-y} \frac{\partial}{\partial k} \left( \frac{k}{r_0+R} \Phi(x+y) \right) + e^{-y} \frac{kR}{r_0+R} \Phi(x+y), \end{aligned}$$

wo  $y$  statt  $(k+k')R$  geschrieben wurde. Der Ausdruck

$\frac{\partial}{\partial k} \left( \frac{k}{r_0 + R} \Phi(x+y) \right)$  unterscheidet sich von  $\frac{\partial}{\partial k} \left( \frac{k}{r_0} \Phi(x) \right)$  nur dadurch, daß  $r_0$  um  $R$  gewachsen ist. Die stets positive GröÙe

$\frac{\partial}{\partial k} \left( \frac{k}{r_0} \Phi(x) \right) = \left( \frac{1}{r_0} + \frac{k}{(k+k')r_0} + k \right) \Phi[(k+k')r_0] - \frac{k}{(k+k')r_0}$  nimmt aber ab, wenn  $r_0$  wächst; denn ihre Ableitung nach  $r_0$  ist negativ unter der Bedingung

$$\Phi(x) < \frac{1}{x + \frac{2x}{x + 1 + \frac{k'}{k}}},$$

welche wegen

$$\frac{x}{x + 1 + \frac{k'}{k}} < \frac{x+1}{x+2}$$

noch sicherer erfüllt ist als die oben bereits angegebene Bedingung. Das zweite Glied in dem oben für den Differentialquotienten unserer Function abgeleiteten Ausdruck ist demnach kleiner als das erste, und somit der ganze Ausdruck positiv. Durch ähnliche Betrachtungen lässt sich zeigen, daß ihr zweiter Differentialquotient stets negativ bleibt. Wir gelangen also zu dem Schluß, *dafs der Werth von*

$$k \int_0^R \frac{e^{-(k+k')r}}{(r_0 + r)^2} dr$$

*mit wachsendem k fortwährend zunimmt von Null (für  $k=0$ ) bis  $\frac{1}{r_0}$  (für  $k=\infty$ ), jedoch immer langsamer, je größer k wird.*

Die vorstehenden Betrachtungen über die Intensität des Fluoreszenzlichts gelten ganz unabhängig von jeder Theorie der Fluoreszenz, und stehen auch mit der von mir vorgeschlagenen Theorie<sup>1)</sup> in keinem unmittelbaren Zusammenhang, obgleich sie sich ungezwungen in den

1) Diese Ann. Bd. CXLIII.

Rahmen derselben einfügen. Ohne für jetzt auf die Theorie ausführlicher zurückzukommen, sey es mir gestattet, bei gegenwärtiger Gelegenheit ein von Herrn Wüllner in der neuesten Auflage seines Lehrbuchs der Experimentalphysik über dieselbe ausgesprochenes Urtheil als unbegründet zurückzuweisen. Herr Wüllner sagt nämlich (II. Bd., S. 294) in einer Anmerkung unter dem Texte:

„Eine vollständigere Theorie der Fluorescenz hat Lommel zu geben versucht. Abgesehen davon, daß diese Theorie auf mehreren willkürlichen Annahmen beruht, steht sie auch mit dem nach allen bisherigen Erfahrungen als richtig anzusehenden Stokes'schen Satze, daß das Fluorescenzlicht immer eine größere Wellenlänge hat als das erregende, im Widerspruch. Sehon deshalb ist diese Theorie nicht annehmbar, es wird daher auch nicht nothwendig seyn, näher auf dieselbe einzugehen.“

Die Annahmen, auf welchen diese Theorie beruht, sind aber folgende drei:

- 1) Die absorbirten Aetherwellen erregen Schwingungen innerhalb der Moleküle der fluorescirenden Substanz, welche sich ihrerseits wieder in den umgebenden Aether fortpflanzen.
- 2) Die Perioden dieser intramolekularen Schwingungen sind durch die Beschaffenheit des Moleküls, nicht aber durch die Perioden der einfallenden Aetherbewegung bedingt.
- 3) Die innerhalb der Moleküle thätigen elastischen Kräfte hängen nicht nur von der ersten, sondern auch von den höheren und namentlich von der zweiten Potenz der Elongation ab.

Diese Annahmen sind die nämlichen, welche Stokes seiner Theorie der Fluorescenz zu Grunde gelegt hat, und denen Herr Wüllner, indem er die Stokes'sche Theorie im Texte seines Lehrbuchs mittheilt, offenbar seinen Beifall zollt. Der Vorwurf der Willkürlichkeit der Annahmen erweist sich sonach gerade vom Standpunkt des Herrn Wüllner aus als ungerechtfertigt.

Meine Theorie unterscheidet sich von der Stokes'schen hauptsächlich dadurch, daß sie aus der dritten der oben angeführten Prämissen zwei Folgerungen ableitet und zur Erklärung der Erscheinungen verwerthet, nämlich:

a) Ein Körper absorbirt nicht bloß Schwingungen von gleicher Dauer wie seine eigenen, sondern auch solche von doppelt so grosser und halb so grosser Periode (Princip der indirekten Absorption).

b) In den Aetherhüllen der Moleküle entstehen Schwingungen, welche aus den Eigenschwingungen des Moleküls und denjenigen der erregenden Aetherwelle combinirt sind (Differenz- und Summationstöne).

Diese beiden Sätze ergeben sich mit Nothwendigkeit aus der dritten Annahme; von einer Seite, welche jene Prämissen acceptirt, kann daher auch diesen Folgerungen der Vorwurf der Willkürlichkeit mit Recht nicht gemacht werden.

Der Hauptgrund jedoch, warum Hr. Wüllner meine Theorie für nicht annehmbar erklärt, besteht darin, daß sie mit dem Stokes'schen Satz, „dafs das Fluoreszenzlicht *immer* eine grössere Wellenlänge hat als das erregende“, im Widerspruch steht. Nach diesem Einwand sowie nach der entsprechenden Stelle im Texte des erwähnten Lehrbuchs zu urtheilen, scheint Hr. Wüllner der Meinung zu seyn, daß Stokes jenen Satz aus seiner Theorie „entwickelt“ habe. Aber Stokes eigene Worte, welche er seinen darauf bezüglichen Betrachtungen vorausschickt, sind: „Bis jetzt bin ich nicht im Stande gewesen, eine mich ganz befriedigende dynamische Erklärung dieses Gesetzes aufzufinden, aber die folgenden Muthmaafungen dürften vielleicht nicht ganz der Erwähnung unworthy erachtet werden“<sup>1)</sup>). Wer nun diese „Muthmaafungen“

1) Diese Annal. Ergänzungsbd. IV. *Philosophical Transact.* 1852, p. 550.

Im Original lauten die oben citirten Worte:

*I have not hitherto been able altogether to satisfy myself respecting a dynamical narration of this law, but the following conjectures will not perhaps be deemed altogether unworthy of being mentioned.*

durchliest, wird sicherlich mit ihrem Urheber das Gefühl der Nichtbefriedigung theilen. Auch bis heute ist es nicht gelungen den von Stokes vermuteten Satz, dass ein periodischer Impuls nur Schwingungen von größerer oder gleicher, nicht aber von kleinerer Periode anzuregen im Stande sey, dynamisch zu erklären, und es wird niemals gelingen, weil derselbe mit den Principien der Mechanik unvereinbar ist. Dass dieser Satz nicht richtig ist, geht übrigens, abgesehen von den Thatsachen, welche ich auf dem Gebiete der Fluorescenz selbst nachgewiesen habe, schon aus jener bekannten Erscheinung hervor, welche Tyndall mit dem Namen Calorescenz bezeichnet hat. Andrerseits ist es aber allerdings Thatsache, und ich habe dieselbe niemals geleugnet, dass bei sehr vielen Fluorescenzerscheinungen, ja bei den meisten bisher beobachteten, das erregende Licht hinsichtlich seiner Brechbarkeit die obere Gränze des Fluorescenzlichtes bildet. Für diesen Satz, welchen man auch ferner als „Stokes'sche Regel“ bezeichnen kann, giebt meine Theorie eine ganz einfache dynamische Erklärung, nämlich die, dass ein Combinationston (Differenzton) niemals höher seyn kann als einer der beiden Theiltöne. Es ist ein sonderbarer Misstrau, dass Hr. Wüllner diese Theorie, welche den Stokes'schen Satz, *soweit er überhaupt giltig ist*, auf ungezwungene Weise erklärt (was die Stokes'sche Theorie nicht vermag), gerade deshalb verwirft, weil sie angeblich mit diesem Satz in Widerspruch stehen soll.

Erlangen, 6. November 1876.

---

V. **Bemerkungen zu Maxwell's elektromagnetischer Lichttheorie; von Dr. J. Fröhlich in Budapest.**

---

**M**axwell fasst die Lichterscheinungen als elektromagnetische Störungen auf.

Indem er dieses Princip unter Anderem auch auf gut elektrisch-leitende Medien anwendet, gelangt er zu folgenden Ausdrücken: <sup>1)</sup>

$$\nabla^2 F + 4\pi\mu C \frac{\partial F}{\partial r} = 0 \text{ etc.}$$

Es bedeutet hier  $F$  die eine Componente der elektromagnetischen Störung;  $C$  die elektrische Leitungsfähigkeit des Mediums, und

$$\mu = 1 + 4\pi k$$

wobei  $k$  die Magnetisirungsconstante der Substanz ist.

Ganz analoge Gleichungen gelten für die  $G$ - und  $H$ -Componenten der Störung.

Mit Hülfe dieser Gleichungen kann man daher für einen beliebigen Punkt des Mediums die elektromagnetische Störung als Function des Ortes des betreffenden Punktes und der Zeit darstellen.

Nun hatte jedoch schon Fourier gefunden, daß die Verbreitung der Wärme durch Leitung nach folgender Gleichung geschieht:

$$\nabla^2 F + \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\partial F}{\partial r} = 0,$$

wobei  $F$  die Temperatur eines beliebigen Punktes der Substanz,  $\gamma$  aber die thermometrische Leitungsfähigkeit derselben bedeutet.

Zufolge der anfangs erwähnten Theorie sind die Erscheinungen des Lichtes, der Wärme und des Elektromagnetismus verschiedene Manifestationen einer und der-

1) J. C. Maxwell: *a treatise on electricity and magnetism*. Oxford, Bd. II, p. 396.

Poggendorff's Annal. Bd. CLX.

selben Störung; es folgt daher aus der Vergleichung der beiden Gleichungen folgender Zusammenhang der in den selben auftretenden Constanten

$$4\pi\mu C = \frac{1}{\gamma}.$$

Bis jetzt scheint keine vergleichende Zusammenstellung dieser Constanten geschehen zu seyn, obwohl die Verificirung resp. Nicht-Verificirung dieser Relation das Kriterium einer wichtigen mathematischen Folgerung der elektromagnetischen Lichttheorie bildet.

Die zur Vergleichung nöthigen Daten entnehmen wir der Arbeit von Wiedemann und Franz<sup>1)</sup>; es bedeutet in folgender Tabelle *l* die relative Wärme-, *C* die relative elektrische Leitungsfähigkeit der betreffenden Substanzen:

Medium	<i>C</i>	<i>l</i>
Silber	100,0	100,0
Kupfer	77,2	73,6
Gold	60,7	53,2
Zinn	15,7	14,5
Eisen	12,5	11,9
Blei	8,7	8,5
Platin	9,5	8,4
Wismuth	1,9	1,8

Diese Tafel ist jedoch in solchem Zustande zur Be werkstelligung der erwähnten Vergleichung nicht geeignet; es sind vorerst aus der ersten Zifferncolonne die Constanten  $4\pi\mu C$ , aus der zweiten jedoch die thermometrische Leitungsfähigkeit zu berechnen.

Man bemerkte nun sofort, dass die Constante  $\mu$  der hier aufgeführten Metalle von der Einheit so wenig abweicht (weil das zugehörige  $k$  außerordentlich klein ist),

1) Diese Ann. Bd. LXXXIX, S. 497.



und daher überall  $\mu = 1$  stehen kann ohne einen nennenswerthen Fehler zu begehen. Eine Ausnahme bildet jedoch das Eisen, dessen  $\mu = 500$  gesetzt wurde, da dessen Magnetisirungsconstante  $k$  zwischen 32 bis 45 schwankt<sup>1)</sup>.

Was nun die Bestimmung der thermometrischen Leitungsfähigkeit betrifft, so müssen wir uns der Bedeutung dieser Constante erinnern, wonach dieselbe ist: „Die Zahl, welche anzeigen, die Temperatur *wie vieler* Volumeneinheiten der Substanz können um  $1^\circ$  erhöht werden mittelst derjenigen Wärmemenge, welche durch zwei gegenüberliegende Flächen des Volumeinheits-Kubus während der Zeiteinheit strömt, vorausgesetzt, dass die Temperaturdifferenz dieser beiden Seiten  $1^\circ$  beträgt und die anderen Flächen des Kubus für Wärme undurchdringlich sind.“

Es sind daher die in der Tabelle enthaltenen Werthe (welche die relativen Wärmequantitäten bedeuten, die während der Zeiteinheit durch die beiden Seiten des Volumeinheit - Kubus fliesen) mit der *specifischen Wärme der Volumeneinheit* zu dividiren.

Die specifische Wärme der Volumeinheit, auch Wärme-capacität der Substanz genannt, ist das Product der gewöhnlichen specifischen Wärme  $c$ , (welche die Temperatur der Masseneinheit um  $1^\circ$  erhöht,) in das specifische Gewicht  $s$  der Substanz; mit diesen Producten werden also die in der ersten Tabelle enthaltenen Constanten der Wärmeleitung dividirt.

Die erste Zifferncolonne der folgenden Tafel enthält die Wärme-capacität  $c'$  (als Einheit diejenige des Wassers angenommen); die zweite Colonne die relativen thermometrischen Leitungsfähigkeiten der Medien.

1) Maxwell's Werk Bd. II, S. 46.

Medium	$c' = cs$	$\gamma$
Silber	0,597	167,6
Kupfer	0,827	89,0
Gold	0,618	86,1
Zinn	0,408	85,5
Eisen	0,855	13,9
Blei	0,852	24,1
Platin	0,704	11,9
Wismuth	0,304	5,9

Nehmen wir nun die reciproken Werthe der zweiten Colonne und multipliciren wir die so erhaltenen Daten mit einem gemeinschaftlichen numerischen Factor, ebenso die Werthe der Producte  $4\pi\mu C$  mit einem anderen numerischen Factor, so daß die beiden Constanten für Silber die Werthe von je 100 annehmen, so erhält man schließlich folgende Tabelle.

Medium	$4\pi\mu C$	$\frac{1}{\gamma}$
Silber	100,0	100,0
Kupfer	77,2	188,3
Gold	60,7	194,7
Zinn	15,7	185,6
Eisen	6250,0	1205,7
Blei	8,7	679,6
Platin	9,5	1408,3
Wismuth	1,9	2840,5

Natürlich enthält diese Zusammenstellung durchaus nicht die absoluten Werthe der betreffenden Constanten, dies ist auch nicht nöthig, da im Sinne der theoretischen Folgerung, für verschiedene Substanzen die *relativen* Werthe der Producte  $\mu C$  gleich seyn müssen den reciproken, *relativen* Werthen von  $\gamma$ .

Diese letzte Tabelle zeigt, daß eine grösere Divergenz fast undenkbar ist, als diejenige, welche zwischen der mathematischen Consequenz der Theorie und den Beobachtungsdaten besteht.

*Die Anwendung der elektromagnetischen Lichttheorie auf gute elektrische Leiter führt daher zu Resultaten, die mit der Erfahrung in directem Widerspruche stehen.*

Trotzdem dürfte es nicht angemessen seyn diese Theorie gänzlich zu verwerfen oder auch nur derselben die gebührende Beachtung zu entziehen, da doch die experimentellen Untersuchungen von Boltzmann, Schiller, Sillow, Root<sup>1)</sup>) gezeigt, daß die Folgerungen der Maxwell'schen Theorie für Dielectrica (feste Körper, Flüssigkeiten und Gase) mit der Erfahrung in sehr befriedigendem Einklang stehen.

Es scheint als ob die Ursache der hier gezeigten Abweichung dieser Theorie von der Erfahrung in der *Einfachheit* der Maxwell'schen Theorie zu suchen sey. Die Vorgänge, welche sich im Innern der Metalle vollziehen, sind jedenfalls complicirter, als diejenigen, welche in den durchsichtigen, resp. nicht leitenden, dielektrischen Medien stattfinden; eben so wenig, wie sich die Reflexion des Lichtes an Metall-Oberflächen mittelst der einfachen Undulationstheorie ableiten lässt, dürfte auch die Maxwell'sche Theorie genügend seyn solch' verwickelte Vorgänge darzustellen.

1) Sämmtliche Arbeiten oder deren Auszüge sind in den letzten Jahrgängen dieser Annalen enthalten.

Budapest, im September 1876.

**VI. Neue Methode die Schmelzpunkte der Metalle,  
sowie auch anderer, die Wärme schlecht leitender  
Stoffe mit Genauigkeit zu bestimmen;  
von Prof. Dr. Himly.**

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Schrift. d. naturwiss. Vereins  
für Schlesw.-Holstein.)

Die Siedepunkte der flüssigen Körper unter demselben Atmosphärendrucke haben für die Charakterisirung derselben eine ähnliche hohe Bedeutung, als dieses mit der Krystallform bei festen Körpern der Fall ist. Beide werden dadurch genau bezeichnet und bei den ersteren wird sogar ihre Reinheit durch die Constanz des Siedepunktes erkannt; selbstverständlich in der Voraussetzung, dass sie sich bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand nicht zersetzen. Man hat in dieser Beziehung mancherlei Gesetzmäßigkeiten entdeckt; namentlich bei vielen Substanzen, welche in das Reich der organischen Chemie gehören. Wie steht es nun aber mit dem Uebergange der festen Körper in den flüssigen Zustand, mit dem Schmelzpunkte? In dieser Beziehung müssen wir gestehen, dass uns die Gesetze zwischen Wärme und der Qualität der Molekular-Constitution so gut als noch ganz unbekannt sind. Die grosse Wichtigkeit ist auch hier einleuchtend, und es genügt schon, an eine grosse Zahl organischer Körper zu erinnern, die ebenfalls durch die Constanz des Schmelzpunktes charakterisiert sind, namentlich im reinen Zustande. Wie wenig wir über diesen Zusammenhang der Wärme mit der qualitativen und quantitativen Beschaffenheit der Körper hinsichtlich ihres Schmelzpunktes wissen, genügt es, selbst an die einfachen Stoffe zu erinnern. Warum schmilzt Platin und Iridium erst bei den höchsten Temperaturen, die wir mit Anwen-

dung des Knallgases hervorzubringen im Stande sind, während Quecksilber schon bei 39° C. unter dem Gefrierpunkte flüssig wird?

Die Schmelz-Temperaturen der übrigen Metalle liegen zwischen diesen Grenzen; aber auch ihre verschiedenen Dichtigkeiten gewähren uns keinen durchgreifenden Anhaltepunkt. Dieses Verhalten jetzt weiter zu verfolgen, würde von dem eigentlichen Zwecke zu weit entfernen. Ich will nur noch die eine Frage stellen: Worin liegt es begründet, daß das Calcium bei Rothglühhitze schmilzt, während seine Verbindung mit dem ganz unverdichtbaren Sauerstoff, die Kalkerde, eben so unschmelzbar ist als die Kohle?

Was die Zahl der wirklich zuverlässigen Schmelzpunkts-Bestimmungen anlangt, sowohl bei einfachen als auch zusammengesetzten Körpern, so ist dieselbe bezüglich des großen vorliegenden Materials eine verhältnismäßig außerordentlich geringe; und doch wird man erst aus großen Zahlen sicherer und genauer Beobachtungen später Gesetze ableiten können. Unter diesen Umständen glaube ich der Wissenschaft einen Dienst zu leisten, wenn ich eine Methode der Schmelzpunkts-Bestimmungen bekannt mache, welche bei ihrer Leichtigkeit in der Ausführung und Sicherheit eine erstaunliche Genauigkeit liefert und sich sowohl auf gute als auch auf schlechte Leiter der Wärme, wie z. B. auf Metalle, Fette u. s. w. anwenden läßt.

In Dingler's polytechn. Journ. Bd. 201, S. 250 findet sich eine sehr interessante Methode von J. Löwe beschrieben, welche auch in Fresenius Zeitschrift Bd. 11, S. 211 übergegangen ist, um den Schmelzpunkt organischer Elektricität nicht leitender Stoffe zu bestimmen. Dieselbe gründet sich darauf, daß ein in den Kreis des elektrischen Stromes eingeschalteter Wecker-Apparat in seiner Thätigkeit so lange unterbrochen bleibt, als der in ein mit Quecksilber gefülltes Bad eintauchende Platindraht, welcher mit der auf seinen Schmelzpunkt zu untersuchen-

den nicht leitenden Substanz einige Millimeter dick überzogen ist, in diesem Zustande verharrt.

Wird nun das Quecksilber-Bad langsam erwärmt, so stellt sich bei dem eintretenden Schmelzen der Substanz der metallische Contact in dem Quecksilber wieder her; das Läutewerk klingelt und in demselben Augenblicke wird der Stand eines zugleich in das Bad eingetauchten Thermometers abgelesen. Die Schwierigkeit, den Schmelzpunkt, Wärme schlecht leitender Substanzen, wie z. B. der Fette usw., namentlich wenn sie zugleich eine bedeutende latente Wärme besitzen, mit Genauigkeit zu bestimmen, ist allgemein bekannt; so wie auch das bisher angewandte, immerhin unvollkommene Verfahren, die zu untersuchenden Stoffe in Haarröhrchen einzuschließen, und an einem nebenbei angebrachten Thermometer das sichtlich eintretende Schmelzen zu beobachten. Um so mehr musste diese von J. Löwe so sinnreich ausgedachte Methode mit Freude begrüßt werden. Leider aber haben die von einem früheren Schüler von mir, dem Apotheker Herrn C. H. Wolff in Blankenese angestellten und in dem Archive der Pharmacie Bd. 3, Heft 6, 1875 beschriebenen Versuche gezeigt, daß doch nicht der erwartete Grad von Genauigkeit erreicht werden konnte, indem er beispielsweise beim weißen Wachs in 24 aufeinander folgenden Versuchen Unterschiede von  $61,2^{\circ}$  C. bis  $65,4^{\circ}$  C., mithin eine Differenz von  $4,2^{\circ}$  C. beobachtete. Dieser Umstand veranlaßte ihn, die Dicke des zu verwendenden Platindrahtes zu verringern und demselben eine andere Form zu geben, wodurch er es erreicht haben will, bei vielen angestellten Versuchen einen Unterschied von nur  $0,5^{\circ}$  C. zu finden. Daß nach den beschriebenen Methoden immer noch keine absolute Genauigkeit erreicht worden ist, muß wohl ohne Frage hauptsächlich der verschiedenen Wärmeleitfähigkeit des Platins dem Quecksilber-Thermometer gegenüber zugeschrieben werden.

In Veranlassung, daß die kaiserliche Werft in Wilhelmshaven, welche neben genauen qualitativen und quan-

titativen Analysen verschiedener Weißmetalle, von denen zwei merkwürdiger Weise circa 5 Proc. Quecksilber enthielten, auch Schmelzpunkts-Bestimmungen derselben verlangte, habe ich zu diesem Zwecke eine Methode angewendet, welche mit der von J. Löwe beschriebenen eigentlich nur die Benutzung eines Läutewerkes gemein hat. Es handelte sich nicht nur darum, den oben erwähnten Fehler bei der Schmelzpunkts-Bestimmung schlechter bei niedriger Temperatur schmelzender die Elektricität isolierender Wärmeleiter zu vermeiden, sondern dieselbe auch auf andere metallische, Wärme und Elektricität gut leitende Substanzen auszudehnen. Diese neue Methode ist folgende:

Die zu den Versuchen zu verwendenden Glas-Thermometer sind mit dünnen ogival zugespitzten Quecksilber-Reservoiren, ähnlich wie bei den sogenannten Retorten-Thermometern versehen; und werden dieselben zunächst nebst einem kurzen Stücke der Röhre selbst, auf chemischem Wege versilbert. Ich bediene mich dazu des weinsteinsauren Silbers.

Damit Jeder diesen Process mit Leichtigkeit und vollkommener Sicherheit ausführen könne, außerdem aber auch diese Versilberungsmethode z. B. bei Hohlgefäßen und Anfertigung von Spiegeln Anwendung findet, so will ich mit wenigen Worten die beste Ausführung beschreiben. Man löst 17 Theile salpetersaures Silber und 28 Theile weinsteinsaures Natrium - Kalium (sogenanntes Seignette-Salz) jedes für sich in einer beliebigen Menge destillirten Wassers auf und gießt beide Auflösungen durcheinander. Der sofort entstehende käsig Niederschlag fällt in wenigen Minuten krystallinisch zusammen. Nachdem sich derselbe gut abgesetzt hat, wird die darüberstehende Flüssigkeit abgegossen und zwei bis drei Mal unter jedesmaligem Umschütteln durch destillirtes Wasser ersetzt. Nachdem so das weinsteinsaure Silber ausgewaschen ist, setzt man noch ein Mal eine kleinere Menge destillirtes Wasser hinzu und verwahrt dieses Gemisch zur späteren beliebigen Ver-

wendung in einem verschlossenen Glase, am besten vor Licht geschützt. Bei dem Gebrauche schüttelt man stark um, gießt einen Theil in ein zu verkorkendes Glas ab und fügt unter fortwährendem Umschütteln sehr verdünntes Ammoniak hinzu. Für das absolut sichere Gelingen der Versilberung kommt alles darauf an, jeden Ueberschuss an Ammoniak in der sich bildenden Lösung zu vermeiden. Sollte dieses nicht geschehen seyn, so muß wiederum etwas von dem Silbersalze hinzugefügt werden, so dass unter allen Umständen ein kleiner Theil desselben ungelöst bleibt. Schon nach wenigen Minuten lässt sich der Anfang der Versilberung an der Wand des Gefäßes beobachten, welche man nun dadurch verlangsamst, daß man die Flüssigkeit mit einer größeren Menge destillirten Wassers verdünnt, welches dem gewünschten Volumen entspricht. Das noch im Ueberschusse vorhandene Silbersalz setzt sich unter Schwärzung rasch zu Boden, worauf man die klare Flüssigkeit abgießt. Dieselbe fängt nun sofort an zu arbeiten, und man muß sich beeilen, die Thermometer so weit schwebend hinein zu bringen, als sie versilbert werden sollen. Das Gefäß versilbert sich natürlich selbst mit. Dieses so eben angegebene Verhalten ist auch zu berücksichtigen, wenn man bei qualitativen Untersuchungen die Anwesenheit der Weinstinsäure nachzuweisen hat.

Da der Ueberzug auf den versilberten Thermometern außerordentlich zart ist, so ist es vortheilhaft, denselben in der gewöhnlichen aus schwefelsaurem Kupferoxyd bestehenden Verkupferungs-Flüssigkeit mit Anwendung eines schwachen elektrischen Stromes zu verstärken. Zuvor aber befestigt man durch Umwickeln einen feinen ausgeglühten Kupferdraht etwas über dem Quecksilbergefäß etwa von der doppelten Länge des Thermometers. Den Draht führt man der Länge nach an dem Thermometerrohre hinauf und befestigt ihn durch Ueberschieben eines Gummiringes, um Zerrungen zu vermeiden; da er beim demnächstigen Gebrauche mit einem galvanischen Elemente in Verbindung gesetzt werden soll. Man lässt die Ver-

kupfer  
reichen  
silberne  
mungen  
gut leit  
Dauerh  
der Un  
muß, s  
speziel

1. Best

Es  
röhre  
der H  
zu wä  
einand  
deutet  
meters

Da  
gossen  
ters.  
oder C  
bad ve  
Je nad  
wird e  
nannte  
andere  
Versuc  
drahte  
U förm  
deren  
sich z  
sich a  
gelche  
gung quem

kupferung bis über die Befestigungsstelle des Drahtes reichen, wodurch eine festere Verbindung mit dem versilberten Thermometerstücke hergestellt wird. Für Bestimmungen der Schmelzpunkte von Metallen und Elektricität gut leitenden Substanzen kann man die Verkupferung der Dauerhaftigkeit wegen etwas stärker machen, während bei der Untersuchung von Nichtleitern derselbe sehr zart seyn muß, oder auch ganz wegfallen kann. Es folgt nun: die speciellere Ausführung der Methode.

I. Bestimmung des Schmelzpunktes der Metalle und die Elektricität leitender Substanzen.

Es gehört zunächst dazu eine Uförmig gebogene Gläsröhre von etwa 10 Ctm. Schenkel-Länge, deren Glasdicke der Haltbarkeit im Gebrauche wegen nicht zu schwach zu wählen ist. Die Schenkel stehen dicht parallel neben einander. Der innere Durchmesser derselben ist unbedeutend grösser, als der des zu verwendenden Thermometers.

Das zu untersuchende Metall wird in Stängelchen gegossen, ebenfalls von ohngefährer Dicke des Thermometers. Außerdem ist noch ein durch eine Spirituslampe oder Gaslampe langsam zu erwärmendes eisernes Metallbad von der Form tiefer runder Schmelziegel erforderlich. Je nach der Höhe des zu bestimmenden Schmelzpunktes wird dasselbe entweder mit Quecksilber oder dem sogenannten Rose'schen Metallgemische oder auch einer anderen geeigneten Metallcomposition gefüllt. Um den Versuch auszuführen, steckt man das mit seinem Leitungsdrahte versehene Thermometer in den einen Schenkel der Uförmigen Röhre und das Metallstängelchen in den anderen ganz bis unmittelbar an die Biegung, so daß sie sich zwar so nahe wie möglich gegenüber befinden, ohne sich aber berühren zu können. Neben dem Metallstängelchen ist noch ein Leitungsdraht bis unten an die Biegung eingeführt, welcher lang genug ist, um später bequem mit einem galvanischen Elemente in Verbindung

gesetzt werden zu können. Diese Vorrichtung wird in einer verschiebbaren Klemme befestigt, um in das Metallbad, nachdem dasselbe flüssig geworden ist, nach gehörigem Vorwärmten tief eingetaucht werden zu können.

Zwischen diesen beiden Leitungsdrähten vom Thermometer und dem des Metallstängelchens wird nun ein elektrisches Läutewerk eingeschaltet.

Der gesammte elektrische Kreis findet demnach nur in der Biegung der U-förmigen Röhre seine Unterbrechung, und so lange diese dauert, schweigt das Läutewerk. Wenn aber das Metallbad, in welches die U-förmige Röhre eintaucht, so weit erwärmt ist, bis das Metallstängelchen schmilzt, so schließt das flüssige Metall den elektrischen Kreis. In demselben Momente ertönt das Läutewerk und der Stand des Thermometers wird abgelesen. Wenn man bedenkt, daß das Thermometer und das Metallstängelchen unter ganz gleichen Verhältnissen der Wärmequelle ausgesetzt sind, und ferner, daß die Temperatur des Metalles bei sehr langsamer Erwärmung sich nicht früher erhöht, als die gesammte Menge geschmolzen ist, so leuchtet die Genauigkeit der auf diese Weise ermittelten Schmelz-Temperaturen von selbst ein. Derartige Bestimmungen können selbstverständlich auf diese Weise nur bei Elektricität leitenden Substanzen Anwendung finden, deren Schmelz-Temperaturen die Anwendung des Quecksilber-Thermometers gestatten; auch müssen die Thermometer-Beobachtungen in bekannter Weise rectificirt werden. Es ist aber auch in letzterer Beziehung vortheilhaft, daß ein bedeutendes Stück der Thermometerskala in dem einen Schenkel der U-förmigen Röhre sich befindet. Das Prinzip an sich ist auch anwendbar auf Metalle von hohen Schmelzgraden, wenn das U-förmige Gefäß aus schwer schmelzbarem Materiale gefertigt wird, und man das Thermometer mit einem passenden Pyrometer vertauscht.

2. Bestimmung des Schmelzpunktes die Wärme schlecht und die Elektricität nicht leitender Substanzen.

Auch für diese wird das metallisirte Thermometer mit seinem Leitungsdrahte verwendet. Die zu untersuchenden Stoffe werden geschmolzen und wenn an der Wandung des dazu verwendeten Gefäßes die Erstarrung beginnt, taucht man das Quecksilber-Reservoir des Thermometers für einen Moment hinein. Es genügt, um das Thermometer ein bis zwei Millimeter dick mit dem Nichtleiter zu überziehen. Ferner gehört dazu ein eisernes Flüssigkeitsbad, in welches durch ein in dem Deckel befindliches rundes Loch ein dünner mit Quecksilber gefüllter Porcellantiegel möglichst tief eintaucht.

Die zum Erwärmen des Bades zu verwendende Flüssigkeit besteht zweckmäßig aus Glycerin oder einer Auflösung von Chlorcalcium in Glycerin, welche ohne Belästigung bis zu einer Temperatur von 200° C. erwärmt werden kann. Sind höhere Temperaturen erforderlich, so würde man sich des Quecksilber- oder des Metallbades durch directes Erhitzen bedienen müssen.

Die Ausführung des Versuches selbst ist nun sehr einfach: Man taucht das metallisirte mit Leitungsdraht versehene Thermometer etwas tiefer als sein längliches Quecksilbergefäß reicht, in die zuvor geschmolzene in dem Schmelzgefäß am Rande wieder erstarrende Masse z. B. Paraffin, und zieht es sogleich wieder heraus. In den meisten Fällen wird ein einmaliges Eintauchen hinreichend seyn. Nach dem Erkalten befestigt man dasselbe, so weit es mit dem Nichtleiter überzogen ist, mit Anwendung eines Statives, in der Mitte des in dem Porcellangefäß befindlichen Quecksilbers eintauchend, und setzt dasselbe mit dem einen Leitungsdrahte des einzuschaltenden elektrischen Läutewerkes in sichere Verbindung. Den anderen Leitungsdraht führt man ebenfalls gut befestigt am Rande des Quecksilberbades in dasselbe ein. Darauf wird das Glycerinbad langsam erwärmt.

Da nun die Fläche des zu untersuchenden Nichtleiters, namentlich wenn das Thermometer nur versilbert ist, mit der des Thermometers zusammenfällt, so muß in dem Momente des Schmelzens, in welchem das Läutewerk ertönt, das Thermometer mit erstaunlicher Genauigkeit den wirklichen Schmelzpunkt angeben. Dieses ist so einleuchtend, daß es nicht erforderlich ist, die Richtigkeit durch Angabe vieler angestellter Versuche zu constatiren.

In Fig. 1, Taf. III ist: *a*) Galv. Element, *b*) Läutewerk, *c*) Glycerin- und Quecksilber-Bad, *d*) U-förmige Röhre mit metallisirtem Thermometer, Metallstängelchen und Leitungsdrähten, *e*) Metallisirtes Thermometer nebst Leitungsdraht für Nichtleiter, *f*) Universalgestell.

Nachträglich möge noch bemerkt werden, daß bei der Schmelzpunkts-Bestimmung der Metalle einerseits darauf zu achten ist, daß das in Uförmigen Röhren befindliche Metallstängelchen sich ganz und gar unter der Oberfläche des Metallbades eingetaucht befindet und daß letzteres nicht nur von unten, sondern auch von den Seiten, also so gleichmäſig wie möglich erhitzt werde. Durch vorsichtiges Umrühren mittelst eines eisernen Stäbchens läßt sich dieses noch besser erreichen. Von der anderen Seite ist aber auch darauf zu achten, daß die Uförmige Röhre in ihrer Biegung nicht zu stark oder gar unregelmäſig zusammengekniffen sey, um das Herabfließen des schmelzenden Metalles nicht zu beeinträchtigen.

Kiel, im März 1876.

## VII. *Ueber den elektrischen Widerstand von Flüssigkeiten unter hohem Druck;* *von Hermann Herwig.*

Die noch offene Frage betreffs eines etwaigen Einflusses starker Compressionen auf den elektrischen Widerstand von Flüssigkeiten schien mir einer Untersuchung werth zu seyn.

Bei den elektrischen Entladungen, die durch Gase hindurch stattfinden, spielt bekanntlich der Druck eine bedeutungsvolle Rolle, wobei durchaus nicht bloß die verschiedene durchschnittliche Distanz der Moleküle maßgebend zu seyn scheint. Gerade mit Rücksicht auf die an Gasen gemachten Erfahrungen hielt ich es nun für wünschenswerth, neben dem Durchgang galvanischer Ströme durch comprimirte Flüssigkeiten namentlich auch den Durchgang stark gespannter Inductionsströme zu untersuchen, da solche Ströme, wie ich kürzlich<sup>1)</sup> nachwies, mehr nach Art von Entladungen die Flüssigkeiten durchsetzen. Ich wandte deshalb zunächst die früher<sup>1)</sup> benutzte Untersuchungsmethode für Inductionsströme nunmehr auch auf comprimirte Flüssigkeiten an und fügte alsdann einige Versuche mit galvanischen Strömen hinzu.

Der Compressionsapparat mußte für den vorliegenden Zweck eigens construirt seyn und ließ ich denselben in feiner Ausführung so herstellen, wie es die Fig. 2, Taf. III angiebt. Außer den eisernen Trägern *A* und dem gleichfalls eisernen Fuße des Manometers *G* sind sämmtliche Metalltheile des Apparates aus Messing gearbeitet. Die Untersuchungsflüssigkeit trat durch das Spiel der Pumpe *C* aus dem Glase *B* aufgesaugt vermittelst eines der punc-tirt gezeichneten inneren Canäle durch das Saugventil *a*, dann durch das Druckventil *b* bei geeigneter Stellung des T-förmig durchbohrten Hahnes sowohl in den Compressionscylinder *D*, als auch an das Sicherheitsventil *E* und durch das Kupferrohr *F* an das getrennt aufgestellte Manometer *G*. Der innere Raum des sehr kräftigen Glas-cylinders *D* war an beiden Enden durch die Messingfassung mit ebenen Messingflächen ganz abgeschlossen, wobei nur durch die obere Fassung der enge Verbindungscanal führte. Die Flüssigkeitsmasse dieses Cylinders, welche in den Weg des bei den Klemmen *c* und *d* eingeführten Stromes trat, hatte also die Form eines regelmäßigen Cylinders (von 3 Centim. Basisdurchmesser und 15 Centim. Länge), dessen Grundflächen die Metallelektroden bildeten.

1) Diese Annal. Septemberheft 1876.

Zum Zwecke einer Reinigung ließen sich beide Endfassungen des Cylinders abschrauben.

Mit diesem Apparate wurde nun zunächst der Effect von sehr kräftigen Inductionsströmen in der früher angegebenen Weise für folgende Flüssigkeiten untersucht:

drei dünne wässerige Lösungen von Kupfersulfat mit specifischen Widerständen (gegen Quecksilber) von rund 38 Millionen, 33 und 10 Millionen (jedesmal für die Umstände der Versuche gültig);

drei dünne wässerige Lösungen von Silbernitrat mit specifischen Widerständen von 143, 26 und 5 Millionen;

gewöhnliches destillirtes Wasser mit einem specifischen Widerstande von 1100 Millionen.

Bei den Messungen an den Silbernitratlösungen und am Wasser waren die Messingelektroden stark versilbert worden.

Für all diese Flüssigkeiten haben zahlreiche Versuche, die nicht in bemerkbarer Weise durch Polarisation gestört waren, ergeben, dass der Widerstand unter dem höchsten andauernd zu erreichenden Drucke von 18 Atmosphären nicht wesentlich abweicht von dem Widerstande bei 1 Atmosphäre. Es kamen für die einzelne Flüssigkeit überhaupt Widerstandsschwankungen bis zu 2 Proc. in den Messungen zum Ausdruck, aber ganz regellos vertheilt unter den Messungen bei gewöhnlichem und höchstem Drucke, so dass wohl nicht zu viel gesagt ist, wenn man keine höhere Beeinflussung des Widerstandes durch einen Druck von 18 Atmosphären annimmt, als höchstens bis zu 1 Proc. in positivem oder negativem Sinne. Auf die sehr geringfügige Veränderung, welche bei einem Drucke von 18 Atmosphären Gestalt und Masse des flüssigen Leiters in dem Apparate erfahren, kommt es hierbei nicht an.

Die Kupfersulfatlösungen habe ich nun weiterhin mit demselben empfindlichen Spiegelgalvanometer, welches zu den vorigen Versuchen gedient hatte, auch in schwachen galvanischen Strömen untersucht. Diese Ströme von drei

Gro  
Flüs  
Siem  
lang  
Pola  
von  
erge  
reich  
wurd  
lenku  
hierb  
ganz  
Wes  
dener  
denn  
wiede  
H  
werth  
keite  
D

VIII.  
Aus

Das  
fäßba  
das A  
gefah  
Hebe  
im of  
eine o

Pogg

Grove'schen Elementen geliefert, durchflossen außer dem Flüssigkeitsapparate noch Metallwege von mehreren tausend Siemens-Einheiten Widerstand und zeigten ebenfalls, so lange sie benutzt wurden, keine Abschwächung durch Polarisation. Auch diese Versuche haben bei einem Druck von 18 Atmosphären keine Veränderung in dem Widerstände ergeben. Wenn während des Stromesdurchgehens bei erreichter fester Ablenkung des Galvanometers comprimirt wurde, so trat allerdings eine geringe Vergrößerung der Ablenkung ein (im stärksten Falle von 432<sup>mm</sup> Scala zu 434,5<sup>mm</sup>; hierbei betrug der Flüssigkeitswiderstand etwa 0,7 des ganzen Widerstandes). Dieselbe war aber offenbar im Wesentlichen Folge einer mit der Compression verbundenen schwachen Temperaturerhöhung der Flüssigkeit; denn sie blieb bestehen, wenn dann rasch der Druck wieder bis zu 1 Atmosphäre nachgelassen wurde.

Hoher Druck scheint also überhaupt nicht in nennenswerther Weise den elektrischen Widerstand der Flüssigkeiten zu beeinflussen.

Darmstadt, den 4. October 1876.

**VIII. Ein vollkommen luftfreies Barometer ohne Auskochen, schnell, leicht und billig herzustellen;  
von C. Bohn.**

Das Heberbarometer hat bekannte Vorzüge vor dem Gefäßbarometer, aber auch eigenthümliche Uebelstände. Ist das Auskochen von Barometerröhren immer ein nicht ganz gefahrloses, jedenfalls lästiges Geschäft, so erschwert die Heberform dasselbe noch beträchtlich. Das Quecksilber im offenen Schenkel erleidet bekanntlich nach kurzer Zeit eine oberflächliche Oxydation und sonstige Verunreinigung,

seine Wölbung ist nicht mehr die gleiche wie im geschlossenen Schenkel, geht gelegentlich in eine Höhlung über, das Metall haftet ungleich an der Röhrenwand, diese wird rasch schmutzig. Die durch die Heberform beabsichtigte Beseitigung des Capillareinflusses gelingt sehr selten, hält aber günstigsten Falls nur kurze Zeit vor.

Die Uebelstände des Heberbarometers können in folgender Art gehoben, ein allen Ansprüchen genügendes Instrument ohne Kochen, mit geringen Kosten, ohne besondere Geschicklichkeit, in sehr kurzer Zeit hergestellt werden.

Eine etwa 2 Meter lange Glasröhre ist heberförmig gebogen, die zwei Schenkel, wie die Abbildung (Fig. 4, Taf. I) zeigt, sind nicht gleich lang. Der kürzere I trägt nahe am oberen Ende einen luftdicht schließenden, einfach durchbohrten Glashahn A, der längere Schenkel II ist oben offen. In der Nähe des Knies zweigt von diesem längeren Schenkel eine kurze Seitenröhre ab, die durch einen einfach durchbohrten, quecksilberdichten Glashahn B nach Außen geöffnet oder abgeschlossen werden kann. Die Röhre kann man, der Quecksilberersparnis halber, im grösseren Theil ihrer Länge ziemlich enge wählen, nur dicht unter dem Hahne A, auf eine Strecke von etwa 320<sup>mm</sup> ist sie weiter. Dann auf eine Strecke von etwa 70 bis 90<sup>mm</sup>, dicht über dem Hahne B im längeren Schenkel von genau gleicher Weite wie unter A. Die Glasröhre wird rein ausgespült (ich finde es vortheilhaft zuletzt starken Alkohol zu benutzen), dann werden mehrere Hektoliter heißer, trockner Luft durchgesogen, während zweckmässig die Röhre über einem warmen Heerde oder dergl. liegt. An das Röhrchen über A wird die zum Aspirator führende Kautschukverbindung befestigt, am offenen Ende des langen Schenkels mittelst Kautschuk eine Chlorecalciumröhre vorgelegt.

Ist die Röhre sehr sorgfältig getrocknet, so wird sie, in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise, auf ein schmales Holzbrett befestigt. Dieses endet unten in einer

Schraube und wird auf einen Holzdreifuß mit Stellschraube (hölzerne) geschraubt, oben hat es einen Ring zum Anhängen (nicht gezeichnet).

Während der Hahn *A* offen, der Hahn *B* geschlossen ist, wird in die Röhre durch einen capillar endenden kleinen Trichter (der allen Staub absiebt), wohl gereinigtes, getrocknetes Quecksilber, das man auf etwa 100° C. erhitze, eingegossen. Es schiebt langsam und allmählig die Luft im Schenkel I vor sich her und lässt sie durch *A* entweichen. Endlich dringt auch Quecksilber durch den Hahn *A* und die darüber sitzende Röhre. Nun schliesst man *A*, öffnet *B*. Aus dem Schenkel II fällt das Quecksilber bis zur Einmündungsstelle der Seitenröhre, in Schenkel I aber bleibt eine Säule von fast Barometerlänge hängen. Die entstandene geräumige Barometerkammer ist noch nicht ganz luftleer, aber sehr luftverdünnt. Sie wirkt als Quecksilberluftpumpe auf die an der Glaswandung anhaftende und auf die im warmen Quecksilber aufgesogene Luft. Man lässt dieser zur Entwicklung in die Kammer einige Minuten Zeit.

Während nun Hahn *B* geschlossen wurde und Hahn *A* geschlossen blieb, wird abermals warmes Quecksilber durch den offenen Schenkel II bis zu dessen oberem Ende eingefüllt. Die in der Kammer enthaltene kleine Luftmenge ist auf eine sehr kleine Blase, dicht unter dem Hahne zusammengedrängt. Man öffnet *A*, das Bläschen entweicht, dann Quecksilber. Man gießt Quecksilber bei *C* nach, ein Strom luftfreien Quecksilbers fliesst durch *A* und nimmt mechanisch alle Luft von dem Glase fort. Nachdem einige Gramme ausgeflossen, wird *A* geschlossen, *B* geöffnet und abfließen lassen. Nun ist die Kammer schon fast ganz luftleer. Sie wirkt während einiger Minuten wieder als Pumpe. *B* wird nun geschlossen, zum dritten Male Schenkel II bis zum Rande gefüllt. Mit bloßem Auge konnte ich nie, mit der Lupe selten noch ein Bläschen Luft unter dem Hahne *A* entdecken. *A* wird nun geöffnet, etwas Quecksilber durchfließen lassen. Zur

größeren Sicherheit wiederholt man das beschriebene Geschäft noch 5 bis 6 Mal. Das letzte Mal läßt man aus *B* nur so lange Quecksilber fließen, bis es irgendwo in dem weiten Röhrentheile über *B* stehen bleibt.

Millimetertheilungen sind auf die weiten Theile der Schenkel aufgetragen. Der *gemeinsame* Nullpunkt liegt irgendwo im Knie. Steht die Geräthschaft genau senkrecht (Stellschrauben), so ist der Unterschied der Ablessungen der Quecksilberkuppen in beiden Schenkeln dem Barometerstande gleich.

Man kann jederzeit schnell etwas Quecksilber durch *B* ablassen oder durch *C* nachfüllen, also eine *frische* Oberfläche im offenen Schenkel (innerhalb der getheilten Strecke) herstellen. Man prüft zugleich die vollkommne Luftleere der Kammer. Besteht sie, so ist der Höhenunterschied der zwei Säulen *derselbe*, ob das Quecksilber hoch über *B* oder nur wenig über *B* steht. Wäre Luft in der Kammer, so fände man bei höherem Stand des Quecksilbers in *H* einen geringeren Unterschied, da der Raum der Luft in der Kammer beträchtlich verengt, der Gegendruck also vergrößert ist. Auch die annähernde Beseitigung des Capillareinflusses wird so erkannt. Ueberhaupt ist die leichte Wiederholung der Messung aus unabhängigen Beobachtungen meines Erachtens sehr nützlich und vor Irrthum sichernd.

Bei dem ersten der von mir in vorstehender Weise hergestellten Barometer schloß der Hahn *A* nicht luftdicht. Als zum letzten Male der Schenkel *I* mit Quecksilber ganz gefüllt und der Hahn *A* bereits geschlossen war, umfuhr ich ihn mit einer Collodiumlösung. Dieses Mittel, den luftdichten Schluss herzustellen, bewährte sich vortrefflich. Trotz sehr wechselnder Temperatur blieb die Kammer monatelang (so lange ich den Apparat beobachtete) luft leer.

Das Brett mit dem darauf befestigten, fertig gestellten Barometer kann aus dem Dreifuß geschraubt und an die Wand gehängt werden.

Der Apparat ist zum Reisebarometer sehr wohl geeignet. Ich entleere ihn vollständig von Quecksilber, Sorge tragen, daß nur getrocknete Luft, durch ein vorgestecktes Chlorealciumrohr bei A und bei C eintreten kann, schließe dann Hahn A und verstopfe C mit einem kleinen Korke. Während der Reise vermag in die, ein für alle mal sorgfältig getrocknete Röhre, Feuchtigkeit nicht einzudringen. Das vom Dreifusse abgeschraubte Brett mit den daran befestigten Glastheilen wird in ein gepolstertes Futteral gelegt, das wie eine Jagdflinte über die Schulter gehängt werden kann. Bei hinreichend starkem Futteral wird aber auch die unsanfte Behandlung des Eisenbahngepäckes ertragen. Das Quecksilber wird in einem wohl verkorkten kleinen Irdenkruze mitgeführt, wie solche bei der Versendung kleiner Quecksilbermengen im Handel dienen. Das dritte Gepäckstück ist der Holzdreifuss. Am Beobachtungsorte angelangt, wird der Dreifuss eingeschraubt, das trockene Quecksilber (dessen Erwärmung jetzt ganz unnöthig, auch beim ersten Male vielleicht überflüssig ist) eingegossen. Binnen einer Viertelstunde ist nach dem ausführlich beschriebenen Verfahren, das Barometer zur Beobachtung fertig hergestellt.

Ich empfehle diese Form des Barometers für vereinzelt gelegene meteorologische Stationen und dergleichen. Die Austrocknung geschieht im Laboratorium, die auf das Brett befestigten Glastheile werden, sorgfältig in gewöhnlicher Kiste verpackt, versendet; die Füllung geschieht an Ort und Stelle. Benutzt man Gehülfen ohne wissenschaftlich-technische Bildung, so dürfte es zweckmäßig seyn, das Barometer in einem Glasschrank zu verschließen. Gelegentlich der Inspection der Station wird die Quecksilberoberfläche im offenen Schenkel aufgefrischt, es wird geprüft usw.

Es empfiehlt sich das eigentliche Knie aus einer *rechten* Röhre zu bilden. Dann kann selbst bei ungeschicktem Tragen des gefüllten Barometers im Laboratorium,

bei heftigen Schwankungen, nicht Luft aus dem offenen in den geschlossenen Schenkel dringen.

Zahlreiche Vergleiche mit einem vorzüglichen Normalgefäßbarometer von ganz ungewöhnlich großem Querschnitte ergaben das beste Ergebnis.

(Das erste von mir hergestellte Exemplar, leider sehr mangelhaft in Theilung und Schliff des Hahnes *A*, habe ich zu der Kensington - Ausstellung wissenschaftlicher Geräthe eingesendet. Es hat ein weniger zweckmässiges eisernes Stativ.)

Aschaffenburg, den 25. Juli 1876.

---

## *IX. Ueber Diffusion und die Frage, ob Glas für Gase undurchdringlich ist; von G. Quincke.*

---

Allen Körpern pflegt man die allgemeine Eigenschaft der Porosität beizulegen. Ueber die Grösse der Poren oder der Moleküle, aus denen die Körper bestehen, wissen wir so gut wie nichts. Es wäre aber wohl möglich, dass zusammengesetzte Moleküle, besonders solche mit großem Molekulargewicht, einen grösseren Raum einnehmen und Körper mit weiteren Poren bilden, als solche mit kleinem Molekulargewicht.

Dann würde ein Wasserstoffmolekül den kleinsten Raum einnehmen und es wäre denkbar, dass Wasserstofftheilchen durch die Poren fester Körper wie Glas hindurchgehen könnten.

Wenn auch diese Ansichten vielleicht in Widerspruch zu stehen scheinen mit einer jetzt weit verbreiteten hypothetischen Anschauung über die Beschaffenheit der Gase, so kann doch die Frage, ob Gase durch die Poren des Glases hindurchgehen können, allein durch die Erfahrung entschieden werden.

Zu diesem Zwecke habe ich versucht Jahre lang Wasserstoff und Kohlensäure mit einem Druck von 40 bis 120 Atmosphären durch eine Glaswand von 1,5<sup>mm</sup> Dicke zu treiben und die hindurchgegangene Gasmenge mit der Waage als Gewichtsverlust zu bestimmen.

Der eine Schenkel einer V-förmigen Glasröhre war eine oben geschlossene enge Capillarröhre von 200<sup>mm</sup> Länge; der andere Schenkel eine oben offene, in der Mitte eingeschnürte Glasröhre von 150<sup>mm</sup> Länge, 8<sup>mm</sup> Durchmesser und 1,5<sup>mm</sup> Wandstärke.

In den offenen Schenkel wurde ein Tropfen Quecksilber, darüber verdünnte Schwefelsäure gebracht, in den oberen Theil etwas Zinkblech geschoben, welches durch die Einschnürung an der Berührung mit der Schwefelsäure verhindert wurde und das offene Ende vor der Glasbläserlampe sorgfältig zugeschmolzen.

Vier in der beschriebenen Weise vorgerichtete Apparate wurden mit der Methode der doppelten Wägung gewogen und dann durch Neigen die Schwefelsäure mit dem Zink in Berührung gebracht.

Der Druck des Wasserstoffs ergab sich aus der Volumenverminderung der Luft in der Capillarröhre, welche als Manometer diente. Derselbe betrug am ersten Tage in den verschiedenen Apparaten 1½ bis 10 Atmosphären, stieg in 5 Monaten auf 27 bis 54 Atmosphären und in 17 Jahren auf 25 bis 126 Atmosphären.

Während dieser Zeit wurden die Apparate mehrfach auf einer vortrefflichen Waage mit doppelter Wägung gewogen und stets bis auf 0<sup>mkr</sup>,1 bis 0<sup>mkr</sup>,3 genau dasselbe Gewicht gefunden (8<sup>mkr</sup>,2556 bis 16<sup>mkr</sup>,5461).

Ein anderer ähnlicher Apparat mit kohlensaurem Kalk und concentrirter Schwefelsäure, in welchem der Druck der Kohlensäure am ersten Tage 21 Atm., nach 5 Monaten 34 Atm. und nach 17 Jahren 44 Atm. betrug, zeigte ebenfalls stets dasselbe Gewicht (14<sup>mkr</sup>,6361).

Nach diesen Versuchen vermag also ein Druck von 40 bis 120 Atm. nicht eine merkliche Menge Kohlensäure

oder Wasserstoffgas während eines Zeitraumes von 17 Jahren durch eine Glaswand von 1<sup>mm</sup>,5 Dicke hindurchzutreiben.

Während ursprünglich die concentrirte Schwefelsäure die Glaswand benetzte und einen spitzen Randwinkel (scheinbar 0°) zeigte, ist allmählich im Laufe der Jahre der Randwinkel stumpf geworden, und die concentrirte Schwefelsäure fließt in dem Glasrohr mit verdichteter Kohlensäure wie Quecksilber in einer mit Luft gefüllten Glasröhre.

In der Atmosphäre von Wasserstoff ist der Randwinkel bei der verdünnten Schwefelsäure, welche ursprünglich die Glaswand ebenfalls benetzte, auch gewachsen bis etwa 60°.

Es scheint sich also allmählich im Laufe der Jahre unter dem Einfluß des großen Druckes die Glaswand mit einer dünnen Schicht Kohlensäure resp. Wasserstoffgas bekleidet zu haben, welche eine andere Anziehung als Glas auf die Flüssigkeitstheilchen am Rande der Oberfläche ausübt.

Eine ähnliche Gasschicht wird sich auch auf der Oberfläche des Zinks abgelagert und die weitere chemische Einwirkung der Säure verhindert haben<sup>1)</sup>.

Trotz des negativen Resultats dieser Versuche möchte ich aus denselben aber nicht den Schluss ziehen, daß in der That die Moleküle des Wasserstoffs und der Kohlensäure größere Dimensionen als die Moleküle oder Poren des Glases haben. Die Entfernung in der die Molekularkräfte des Glases auf die Gastheilchen wirken, ist jedenfalls größer als die Dimensionen der Moleküle selbst. Die Porenwandungen des Glases können mit einer adsorbierten Gasschicht überzogen seyn, die durch die Nähe der festen Substanz selbst unbeweglich geworden ist, und den Durchgang der

1) Vergl. Babinet, *Ann. de chim.* (2) t. 37, p. 183.  
Faraday, *Quart. Journ.* 3, p. 374.  
Gmelin, *Handb. d. Chem.* I, S. 126, 1843.  
L. Meyer, *Pogg. Ann. Bd. CIV*, S. 189, 1858.

Gastheilchen aus dem Innern der Glasröhre in die freie äußere Luft hindert.

Es wäre auch denkbar, daß in den Poren des Glases sich tropfbare Flüssigkeit mit stark gekrümmten Oberflächen befindet, die den Ausfluß des Gases verhindert, ähnlich wie unter gewöhnlichen Verhältnissen Quecksilber nicht aus den Poren eines hölzernen Gefäßes ausfliesst.

Ein ähnlicher Einwand lässt sich gegen die sonst so sinnreiche Methode von M. Traube<sup>1)</sup> erheben, die relative Grösse der Moleküle einer Substanz zu bestimmen aus der Möglichkeit durch eine sogenannte Niederschlagmembran hindurchzugehen.

Hr. Traube bringt zwei in Wasser lösliche Substanzen *A* und *B* zusammen, die an der Berührungsfläche einen unlöslichen Niederschlag geben. Dieser Niederschlag bildet eine dünne poröse Haut oder ein Netzwerk mit Löchern. Die Löcher sind kleiner, als die kleinsten Theilchen der einen Substanz (etwa *A*), welche zur Bildung des Niederschlages beigetragen haben; denn wären sie grösser, so würden, wie Hr. Traube meint, durch sie hindurch Moleküle der Substanz *A* zur Substanz *B* gehen und das Loch mit neugebildetem unlöslichen Niederschlag verstopfen. Die dünne Haut der „Niederschlagmembran“ repräsentirt hiernach ein Sieb, durch welches nur Moleküle, kleiner als die Löcher des Siebes, oder kleiner als die Moleküle der Substanz *A* hindurchgehen können. Substanzen mit grösseren Molekülen können durch dieses Sieb oder durch diese Niederschlagmembran nicht diffundiren.

Dabei ist aber übersehen, daß der durch chemische Einwirkung der Substanzen *A* und *B* gebildete feste Körper im Allgemeinen verschiedene Quantitäten der drei Substanzen *A*, *B* und Wasser durch ausählende Adsorption an seiner Oberfläche festhalten wird. Durch die Dicke dieser adsorbierten gleichsam fest gewordenen Flüssigkeits-

1) Reichert und du Bois-Reymond's Archiv 1867, S. 87 sqq.  
Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose.

schicht ist wieder die Größe der Poren der „Niederschlagmembran“ bestimmt, durch welche die Diffusion vor sich geht. Die Dicke der adsorbierten Flüssigkeitsschicht kann aber wieder von der Geschwindigkeit abhängen, mit der die unlösliche Substanz der Membran entstanden ist.

Diese Theorie der Diffusion durch siebartige Niederschlagmembranen wird besonders gestützt durch Versuche mit wässriger Gerbsäurelösung und sogenanntem  $\beta$ -Leim, d. h. gewöhnlicher concentrirter Leimlösung, welche längere Zeit auf 100° erhitzt worden ist, und dadurch die Eigenschaft erhalten hat, auch nach dem Erkalten noch flüssig zu bleiben.

Ein an einem Glasstab erkalteter Tropfen Leimlösung in Gerbsäurelösung gebracht bildet im Laufe einer oder mehrerer Stunden ein kleines mit Flüssigkeit gefülltes Säckchen, welches allmählig größer wird, bis es schließlich platzt oder wieder zusammenschrumpft.

Hr. Traube meint, daß sich dabei eine Niederschlagmembran von unlöslichem gerbsauren Leim bilde, durch deren Poren nur Wasser, aber keine Gerbsäure von Außen zu der Leimlösung im Innern der Membran gelange.

Ich habe einen Tropfen warmen  $\beta$ -Leims in der unteren Oeffnung eines kurzen, leichten, aus einer reinen Glasröhre geblasenen Trichters 24 Stunden lang antrocknen lassen und dann den Trichter als Schwimmer auf eine 5-procentige Gerbsäurelösung gebracht. Nach drei Stunden hatte sich aus dem Leim ein mit Flüssigkeit gefülltes Säckchen gebildet, das im Innern des Trichters von Luft begrenzt war und durch einen in die obere Trichteroeffnung eingeführten Glasfaden durchgestochen wurde, ohne den unteren an die Gerbsäure gränzenden Theil zu verletzen. Ein Theil der Flüssigkeit stieg aus dem Innern des Säckchens durch Capillar-Attraction in dem Glasfaden in die Höhe und gab in ein Uhrglas entleert mit Eisenchlorid eine dunkelschwarze Färbung. Es scheint, daß die Leimsäckchen im Innern zuerst viel, später nach längerer Diffusion weniger Gerbsäure enthielten.

Es ist  
artigen L  
das Inne  
bran eine  
Leim un  
wähnte  
Hei

## X. Ue

Im Bd  
Beobac  
ständig  
schon t  
Algerie  
tion an  
des Bop  
Diagono

Die  
der Re  
tropfen  
tung d  
überein  
erzeugt  
des Re  
gonale  
gelöst  
tung d  
Parall  
die So

Es ist also im Widerspruch mit der Theorie der siebenartigen Niederschlagmembranen Gerbsäure von Außen in das Innere der den Leim bedeckenden Niederschlag-Membran eingedrungen und der Vorgang der Diffusion von Leim und Gerbsäurelösung viel complicirter, als die erwähnte Theorie ihn auffaßt.

Heidelberg, den 29. October 1876.

---

## X. Ueber das polarisirte Licht des Regenbogens;

von J. Dechant,

Prof. am Gymnasium zu Bozen.

---

Im Bd. 159 dieser Annalen S. 496 theilt Hr. Schiel die Beobachtung mit, daß das Licht des Regenbogens vollständig polarisirt ist. Diese Thatsache beobachtete auch schon früher 1870 Tyndall gelegentlich seiner Reise nach Algerien<sup>1)</sup>, und er giebt auch die Richtung der Polarisation an, indem er sagt: „In allen Fällen konnte das Licht des Bogens durch ein Nicol'sches Prisma, dessen größere Diagonale den Bogen tangirte, ausgelöscht werden.“

Die Erscheinung findet ihre hinreichende Erklärung in der Reflexion des Lichtes an der Rückwand eines Regentropfens. Denn erstens stimmt die Schwingungsvorrichtung des vom Regenbogen zum Auge gelangenden Lichtes überein mit der Schwingungsrichtung des durch Reflexion erzeugten polarisierten Lichtes. Wenn nämlich das Licht des Regenbogens durch den Nicol, mit der längeren Diagonale parallel zur Tangente an den Bogen gehalten, ausgelöscht wird, so schwingt das Licht selbst in der Richtung der längeren Diagonale, also parallel mit der Tangente. Parallel mit der Tangente ist aber senkrecht auf der durch die Sonne, den Regentropfen und das Auge gelegten Ebene;

1) J. Tyndall, In den Alpen, deutsche Ausgabe 1872, S. 382.

mithin erfolgten die Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene.

Es ist aber zweitens auch der Winkel, unter dem die Strahlen auf die Rückwand des Tropfens auffallen, nicht weit entfernt von dem Winkel vollständiger Polarisation; denn während der letztere für Wasser in Luft etwa  $37^\circ$  beträgt, so ist der erstere durchschnittlich  $40^\circ$ .

Berechnet man nach den Fresnel'schen Intensitätsformeln, auch die zweimalige Brechung im Regentropfen mitberücksichtigt, das Verhältnis der Intensitäten des senkrecht zur Einfallsebene und des in der Einfallsebene schwingenden Lichtes; so erhält man

$$\left[ \frac{\cos^3(\alpha - \beta)}{\cos(\alpha + \beta)} \right]^2,$$

wo  $\alpha$  den Einfallswinkel für die wirksamen Strahlen und  $\beta$  den Brechungswinkel bedeutet. Daraus ergibt sich für die äußersten rothen Strahlen ( $n = 1,3317$ ) 24,5 und für die äußersten violetten ( $n = 1,3448$ ) 34,9.

Also 25 bis 35 mal schwächer erscheint der Regenbogen, wenn man den Nicol aus der Stellung, wo die kürzere Diagonale der Tangente an den Bogen parallel gehalten wird, um  $90^\circ$  dreht, was wohl dem gänzlichen Verschwinden sehr nahe kommt, wenn man bedenkt, daß der Nebenregenbogen schon ziemlich schwach erscheint, dessen Intensität nach der Rechnung doch nur etwa  $2\frac{1}{2}$  mal geringer ist als die des Hauptregenbogens.

Schließlich können wir uns auch noch auf indirekte Weise durch einen Versuch von der Richtigkeit der gegebenen Erklärung überzeugen, indem wir uns einen Regenbogen herzustellen suchen mit einer Flüssigkeit, bei welcher das Licht durch die Reflexion an der Rückwand eines Tropfens nicht so stark polarisirt wird, wie bei Wasser. Zu dem Zwecke suchen wir zuerst den Brechungs-Exponenten jener Flüssigkeit, bei welcher das Licht vollständig polarisirt würde.

Heißt  $\beta$  der Winkel, unter dem die Strahlen auf die

Rückwa  
Exponen

$\operatorname{tg} \beta$  mu  
risation

Nun mi  
exponen  
Cassiaöö  
erstere  
da es, s  
leichter  
Luft sch  
sitäts - V  
des in  
rothen  
( $n = 1,$

In  
bei du  
durch  
die Flü  
so sieht  
bei ein  
ausgelö

Rückwand des Tropfens auffallen, und  $n$  der Brechungs-Exponent (von Luft in Flüssigkeit), so ist

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4-n^2}{n^2-1}}.$$

$\operatorname{tg} \beta$  muß aber auch gleich seyn, falls vollständige Polarisierung eintreten soll,  $\frac{1}{n}$ ; daraus findet man

$$n = \sqrt{2} = 1,414 \dots$$

Nun müssen wir eine Flüssigkeit wählen, deren Brechungsexponent möglichst weit von  $\sqrt{2}$  entfernt ist, also etwa Cassiaöl oder Schwefelkohlenstoff, von denen sich das erstere zur Herstellung eines Regenbogens mehr eignet, da es, abgesehen von dem minder unangenehmen Geruch, leichter zerstäubt, und die Tröpfchen dann länger in der Luft schweben bleiben. Die Rechnung ergibt als Intensitäts-Verhältnis des senkrecht zur Einfallsebene und des in der Einfallsebene schwingenden Lichtes für die rothen Strahlen ( $n = 1,5945$ ) 6,3 und für die violetten ( $n = 1,7025$ ) 2,8.

In der That zerstäubt man Cassiaöl im Sonnenlichte bei dunklem Hintergrunde durch einen Luftstrom, der durch ein Glasrörchen rechtwinklig über ein anderes in die Flüssigkeit tauchendes Glasrörchen getrieben wird, so sieht man einen prächtigen Regenbogen, dessen Licht bei einiger Intensität durch den Nicol nicht vollständig ausgelöscht werden kann.

Pyenome  
Pyenome  
Pyenome  
Pyenome

## XI. Ueber den Ardennit und über eine Methode zur Scheidung der Vanadinsäure von Thonerde und Eisenoxyd; von Anton Bettendorff.

In diesen Annalen Bd. CXLIX veröffentlichte ich gemeinsam mit Hrn. Prof. Dr. von Lasaulx einige Analysen des Ardennits, eines Minerals, das durch seinen Isomorphismus mit dem Ilvait und einen hohen Vanadinsäuregehalt von Interesse ist. Wir haben damals die Schwierigkeit der Trennung von Vanadinsäure und Thonerde hervorgehoben, da die beiden Substanzen ein ähnliches Verhalten zu einander zeigen, wie die Phosphorsäure zur Thonerde.

Seit jener Zeit habe ich eine leicht auszuführende und scharfe Trennungsmethode für beide Substanzen aufgefunden und ist das ein Grund gewesen zur Ausführung neuer Analysen des Ardennits. Eine weitere Veranlassung dazu gab die Analyse des Hrn. Pisani<sup>1)</sup>), die einen Arsensäuregehalt von 6,35 Proc. in dem Minerale nachweist.

Mit Material zur Untersuchung war ich durch die Güte des Hrn. von Lasaulx reichlich versehen. Es fiel bei demselben zunächst die Verschiedenheit der Färbung auf. Während zu den früheren Untersuchungen nur dunkelbraune Stücke gedient hatten, gebot ich jetzt über solche vom undurchsichtigen hellen Schwefelgelb bis zum dunklen durchsichtigen Kolophoniumbraun.

Durch Auswahl der hellsten und dunkelsten Stücke bildete ich zwei Proben, die zu den folgenden Analysen gedient haben. No. I war hell schwefelgelb und undurchsichtig in dünnen Splittern, No. 2 war kolophoniumbraun und durchsichtig.

Bei den Bestimmungen des spec. Gewichtes dieser Proben wurden folgende Werthe gefunden.

1) *Compt. rend.* T. 75, p. 1542 und T. 77, p. 329.

Aus  
für No.  
Die  
ren An  
war fol  
Nac  
felwass  
Magne  
freie F  
setzt u  
Vanadi  
trat en  
liche F  
ermitte  
nig Chl  
gelöst,  
führungs  
befeuelt  
Tropfen  
Vanad  
einer k  
auf. A  
erde, I  
oxydul  
Manga  
Die  
ruht n

1) In  
da  
gef  
gezo

	No. I.	No. II.
Pycnometer leer . . . . .	5,3674 Grm.	5,3668
Pycnometer + Mineral . . . .	10,0168 ,	9,8844
Pycnometer + Mineral + Wasser	11,8055 ,	11,7046 T. = 17°,0 C.
Pycnometer + Wasser . . . .	8,4275 ,	8,4275

Aus diesen Zahlen berechnet sich das spec. Gewicht für No. I zu 3,656, für No. II zu 3,643.

Die Zerlegung des Ardennits wurde wie bei den früheren Analysen mit Soda bewirkt, der Gang der Analyse war folgender.

Nach Abscheidung der Kieselsäure wurde durch Schwefelwasserstoff das Arsen gefällt, in arsensaure Ammon-Magnesia übergeführt und als solche gewogen. Das arsenfreie Filtrat wurde mit Ammon und Schwefelammon versetzt und dadurch die Schwefelverbindungen des Eisens, Vanadins, Mangans und die Thonerde entfernt. Das Filtrat enthielt kein Sulfosalz des Vanadins, der darin befindliche Kalk und die Magnesia wurden in üblicher Weise ermittelt. Der Schwefelammoniumniederschlag wurde in wenig Chlorwasserstoffsäure und einigen Tropfen Salpetersäure gelöst, zur Trockne gedampft, dann zur vollständigen Ueberführung des Vanadins in Vanadinsäure mit Salpetersäure befeuchtet und abermals trocken gedampft. Mit wenigen Tropfen Salpetersäure angesäuertes Wasser löst den durch Vanadsäure braun gefärbten Abdampfungs-Rückstand zu einer klaren, mehr oder minder gelbgefärbten, Flüssigkeit auf. Aus derselben wurde mit kohlensaurem Baryt, Thonerde, Eisenoxyd und Vanadsäure abgeschieden<sup>1)</sup>, Manganoxydul blieb in Lösung und wurde in üblicher Weise als Manganoxyd-Oxydul bestimmt.

Die Trennung der Vanadsäure von der Thonerde beruht nun auf folgender Thatssache.

1) In der ersten Abhandlung über den Ardennit habe ich angegeben, dass auch das Tetroxyd des Vanadins durch kohlensauren Baryt gefällt werde. Es ist das nicht der Fall, wie mir neue Versuche gezeigt haben.

Wird eine Lösung der beiden Stoffe mit Ammon versetzt, so fällt gelbe vanadsaure Thonerde, ein Ueberschuss von Ammon entzieht ihr die Vanadsäure nicht. Fügt man zu der gelben Fällung phosphorsaures Ammon, so wird nach Erwärmung auf dem Wasserbade der gelbe Niederschlag rein weiß und die Flüssigkeit enthält vanadsaures Ammon. Die vanadsaure Thonerde hat sich mit dem phosphorsauren Ammon vollständig zu phosphorsaurer Thonerde und löslichem vanadsaurem Ammon umgesetzt. Auch bei Gegenwart von Eisenoxyd findet diese Umsetzung statt. Die phosphorsaure Thonerde bildet einen schleimigen Niederschlag, der sich rasch absetzt aber nicht auf dem Filtrum auswaschen lässt. Man muss ihn durch Decantiren reinigen und das Absetzen durch jeweiligen Absatz einiger Tropfen Chlorammonlösung befördern.

Der Fortgang der Analyse war nun folgender:

Der Niederschlag von Thonerde, Eisenoxyd und vanadsaurem Baryt wird in wenig Chlorwasserstoffsäure gelöst, der Baryt durch Schwefelsäure entfernt und dann einige Tropfen Phosphorsäure<sup>1)</sup> zugefügt. Man erhitzt auf dem Wasserbade und fällt phosphorsaure Thonerde und phosphorsaures Eisenoxyd mit Ammon. Alle Vanadsäure bleibt als Ammon in Lösung. Ist der Niederschlag noch gelb gefärbt, so war zu wenig Phosphorsäure vorhanden, man löst daher abermals und verfährt nach Zusatz von Phosphorsäure wie vorhin. Durch Absetzenlassen und Abgießen durch ein Filtrum wird das vanadsaure Ammon von dem Niederschlag getrennt und der letztere durch Decantiren ausgewaschen. Das gesammelte Waschwasser wird eingedampft, wobei meist noch eine sehr kleine Menge phosphorsaure Thonerde sich abscheidet, die sorgfältig entfernt und der obigen Fällung beigegeben wird. Die auf ein kleines Volumen eingedampfte Flüssigkeit ist hellgelb gefärbt, wie eine schwache Lösung von chromsaurem Kali.

1) Durch Eindampfen von wasserfreier Phosphorsäure mit Salpetersäure, und nachheriges Einleiten von Schwefelwasserstoffgas zur Entfernung der Arsensäure, erhalten.

Sie enth  
fication,  
hellgelbe  
nadsäure  
gelben F  
Tagen d  
schieden  
nicht m  
Ein The  
von Ha  
digere A  
haltigen  
und dan  
fangs er  
und Ste  
von bra  
Phospho  
Glühen  
führt.  
ohne je

Der  
Eisenox  
saurem  
Ammon  
gänzlich  
Fällung  
Ammon  
geschie  
und be

Es  
der bei  
Pro  
105° C  
sensaur  
Kupfer  
Magne

Pogge

Sie enthält das vanadsaure Ammon in der gelben Modification, welches sich bei genügender Concentration als hellgelbes Krystallpulver absetzt. Man fällt nun die Vanadsäure nach Angabe von Berzelius durch Sättigen der gelben Flüssigkeit mit Chlorammon, wodurch nach einigen Tagen der größte Theil als vanadsaures Ammon abgeschieden wird. Es ist aber nach meinen Erfahrungen nicht möglich alle Vanadsäure auf diese Weise zu fällen. Ein Theil bleibt selbst bei Gegenwart von Alkohol, den von Hauer empfohlen hat, in Lösung. Eine vollständigere Abscheidung erfolgt, wenn zu der phosphorsäurehaltigen Lösung der Vanadsäure Schwefelammon gefügt und dann mit Essigsäure schwach eingesäuert wird. Anfangs entsteht keine Fällung, bei schwachem Erwärmen und Stehenlassen erfolgt in einigen Stunden Abscheidung von braunem Schwefelvanadin. Die Flüssigkeit enthält die Phosphorsäure und nur Spuren von Vanadsäure. Durch Glühen wird das Schwefelvanadin in Vanadsäure übergeführt. Sie war bei den Analysen beider Ardennit-Proben ohne jeden Rückstand in Ammon löslich.

Der Niederschlag von phosphorsaurer Thonerde und Eisenoxyd wurde in Salpetersäure gelöst, mit molybdänsaurem Ammon die Phosphorsäure entfernt und dann mit Ammon, Thonerde und Eisenoxyd gefällt. Um dieselben gänzlich frei von Molybdänsäure zu erhalten, wurde die Fällung nochmals in Chlorwasserstoffsäure gelöst und mit Ammon und Schwefelammon Thonerde und Eisenoxyd abgeschieden, die nun in der gewöhnlichen Weise getrennt und bestimmt wurden.

Es ergaben sich auf diese Weise für die Bestandtheile der beiden Mineralproben folgende Werthe.

Probe No. I. Angewandte Menge 1,0142 Grm. bei 105° C. getrocknet. Gefunden: Kieselsäure 0,2790. Ar-sensaure Ammon-Magnesia bei 100° C. getrocknet 0,1566. Kupferoxyd 0,0018. Kalk 0,0186. Phosphorsaure Ammon-Magnesia 0,0361. Manganoxyd-Oxydul 0,3339. Vanadin-

säure 0,0054. Thonerde 0,2299. Eisenoxyd 0,0117. Glühverlust durch Erhitzen auf der Gebläselampe: 0,9099 Grm. Ardennit gaben 0,0467 Verlust.

Probe No. II. Angewandte Menge 1,0302 Grm. bei 105° C. getrocknet. Gefunden: Kieselsäure 0,2869. Ar-sensaure Ammon-Magnesia bei 100° C. getrocknet 0,0470. Kalk 0,0224. Phosphorsaure Ammon-Magnesia 0,0862. Manganoxyd-Oxydul 0,2958. Vanadinsäure 0,0948. Thonerde und Eisenoxyd 0,2495. Glühverlust durch Erhitzen auf der Gebläselampe: 0,6480 Grm. Ardennit gaben 0,0331 Verlust.

Aus den vorstehenden Angaben berechnen sich folgende procentische Werthe:

	Probe No. I.	Probe No. II.
Kieselsäure . . .	27,50	27,84
Thonerde . . .	22,76	24,22
Eisenoxyd . . .	1,15	
Manganoxydul . .	30,61	26,70
Kalk . . . . .	1,83	2,17
Magnesia . . . .	1,38	3,01
Kupfer . . . .	0,17	0,00
Vanadinsäure . .	0,53	9,20
Arsensäure . . .	9,33	2,76
Wasser . . . .	5,13	5,01
	100,39	100,91.

Der Kieselsäuregehalt der beiden Analysen weicht erheblich von dem früher gefundenen, 29,60, 29,89 ab. Es ist das nicht auffallend, da der Ardennit meist von feinen Quarzgängen durchzogen ist. Bei der reichen Menge an Material, welches mir zu Gebote stand, war es möglich diesen Quarz besser zu entfernen als bei den ersten Analysen, wo nur über eine geringe Menge verfügt wurde.

Es zeigt sich nun, dass in der That der Ardennit Ar-sensaure enthält und zwar in wechselnder Menge, dass

wie es  
dennit p  
der Fär  
noch ei  
je nach  
gefunde  
Mineral  
tische M  
ersten  
Analyse  
nommen  
vorlag,  
Materi  
Grund  
seitig v  
Ardenn  
Menge  
einen A

## XII.

Vor  
Krysta  
die pyr  
setzen.  
a: 3 a:  
leicht  
baren I  
Krystal  
1) Pog

wie es scheint Vanadinsäure und Arsensäure sich im Ardennit gegenseitig vertreten, wodurch die Verschiedenheit der Färbung bedingt wird. Es hat mich dieses veranlaßt, noch einige Arsenbestimmungen auszuführen und habe ich je nach der Farbe auch wechselnden Gehalt an Arsensäure gefunden und zwar einen um so geringeren, je dunkler das Mineral von Farbe war. Es wurden folgende procentische Mengen erhalten: 1,83, 2,31; 2,53, 2,98, 6,64. Die ersten von mir und Hrn. Prof. Lasaulx ausgeführten Analysen waren mit einem sehr dunklen Material vorgenommen worden, wie es für diese Analysen nicht mehr vorlag, ich halte deshalb an der Meinung fest, daß dieses Material frei von Arsensäure war. Es steht dem kein Grund entgegen, da sich Vanadin- und Arsensäure gegenseitig vertreten und wir, wie Analyse I zeigt, sogar einen Ardennit haben, der Vanadinsäure in sehr untergeordneter Menge enthält. Man könnte deshalb einen Vanad- und einen Arsen-Ardennit unterscheiden.

---

## XII. Ueber die Zusammensetzung des Speiskobalts und verwandter Mineralien; von C. Rammelsberg.

---

Vor einiger Zeit hat Groth<sup>1)</sup> mitgetheilt, daß an den Krystallen von Speiskobalt Flächen vorkommen, welche die pyritoëdrische Hemiedrie des Minerals außer Zweifel setzen. Denn er beobachtete das Pentagondodekaëder  $a : 3a : \infty a$  und ein gebrochenes Pentagondodekaëder, vielleicht  $a : \frac{1}{2}a : \frac{1}{3}a$ , neben anderen nicht genau bestimmbarer Pentagondodekaëdern. Außerdem fand er, daß die Krystalle des Speiskobalts sich gegen Kupfer thermo-elek-

1) Pogg. Ann. Bd. 152, S. 249.

trisch, entweder positiv oder negativ verhalten. Er sieht hierin einen Beweis der Isomorphie von Speiskobalt, Eisenkies und Kobaltglanz (also auch Nickelglanz).

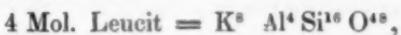
Groth behauptet aber auch, daß hierdurch die Zusammensetzung des Speiskobalts als unveränderlich =  $RAs^3$  bewiesen sey.

Dieser Behauptung stellen sich theoretisch und tatsächlich sehr gewichtige Einwürfe entgegen. Denn das sogenannte *Gesetz* der Isomorphie ist weiter nichts als der Erfahrungssatz, daß Gleichheit oder nahe Uebereinstimmung der Form bei Körpern sich findet, welche als analog zusammengesetzt betrachtet werden, was doch nicht nothwendig den Schluß bedingt, daß hierbei ein Causalitätsverhältniß stattfinde. Eine unbefangene Erwägung lehrt nur, daß Moleküle von atomistisch gleichem Bau vorzugsweise Neigung haben, sich in gleicher Weise zu Kristallmolekülen zu gruppiren. Kann  $KClO_4$  die gleiche Constitution haben wie das ihm isomorphe  $KMnO_4$ ? Das ist bei der verschiedenen Atomaequivalenz (Valenz) von Chlor und Mangan nicht anzunehmen, welche Ansicht man auch über die Constitution dieser Salze haben möge. Nie darf vergessen werden, daß die Isomorphie auf That-sachen, die Constitution auf Hypothesen beruht, daß es daher unlogisch ist, die hypothetische Constitution von Verbindungen als die Ursache der Isomorphie zu betrachten. Auch bezweifelt Groth selbst<sup>1)</sup> die gleiche Constitution jener beiden Salze, die vorläufig blos dadurch analog erscheinen, daß ihre Elementaratome in dem Verhältniß 1 : 1 : 4 stehen.

Sind Anorthit und Albit isomorph? Ohne Frage, denn sie erfüllen alle Bedingungen der Isomorphie hinsichtlich der Form und Structur und sie liefern zahlreiche isomorphe Mischungen. Und doch sind sie chemisch durchaus nicht analog, da der Albit dreimal so viel Si wie der Anorthit bei gleicher Menge Al enthält.

1) Habilitationsrede 1870.

Man hat gesagt, beide Feldspathe seyen doch analog zusammengesetzt, der Anorthit sey nicht  $\text{Ca}^2\text{Al}^2\text{Si}^2\text{O}^8$ , sondern  $\text{Ca}^2\text{Al}^2\text{Si}^4\text{O}^{16}$ , und die Isomorphie mit  $\text{Na}^2\text{AlSi}^6\text{O}^{16}$  sey eine Folge der Aequivalenz von 2 Si und von CaAl. Das ist in der That ein arger Trugschluss. Denn es versteht sich ganz von selbst, daß in allen Sauerstoffverbindungen bei gleicher Menge Sauerstoff die mit ihm verbundenen Mengen der Elemente aequivalent seyn müssen. Wenn jene Annahme die Isomorphie der beiden Feldspathe *bewiese*, dann wären auch *Albit* und *Leucit* isomorph, weil



wobei  $2\text{Si} = \text{K}_2\text{Al}$ . Aber dann wären unzählige Verbindungen isomorph. In der Aequivalenz von Elementaratomen liegt gewiß nicht die Ursache der Isomorphie.

Groth behauptet<sup>1)</sup>), weil Analogie der Zusammensetzung, d. h. ein gleicher Bau der Moleküle, erforderlich sey, könne ein Salz nicht isomorph seyn einem Oxyd; also titansaures Eisenoxydul nicht isomorph Eisenoxyd. Diese Behauptung ist ganz unrichtig, denn es ist eine bekannte Thatsache, daß die Titaneisen von Bourg d'Oisans, von Hofgastein, von Laytons Farm u. a., welche theils  $\text{FeTiO}_3$ , theils Mischungen desselben mit  $\text{MgTiO}_3$  sind, die Form des Eisenglanzes haben.

Kehren wir zu Groth's Behauptung zurück, der Speiskobalt sey lediglich  $\text{RAs}^2$ . Er erklärt: alle Analysen, welche hiervon abweichen, sind mit unreinem Material angestellt.

Man sollte denken, eine so kategorische Behauptung, welche die Arbeiten vieler Analytiker verdächtigt, sey von Groth durch neue Analysen von reinem Material bewiesen. Dies ist aber durchaus nicht der Fall. Alle an Arsen ärmeren Speiskobalte sind nach ihm Gemenge von  $\text{RAs}^2$  und  $\text{RAs}$ . Was ist aber dieses  $\text{RAs}$  oder  $\text{CoAs}$ ?

1) Tabellarische Uebersicht der Mineralien 1874, S. IX.

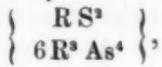
Eine von Kenngott angeführte Substanz, welche nicht analysirt und sicherlich auch nur Speiskobalt ist. Diesen hypothetischen Körper benutzt Groth für seine Hypothese, Speiskobalt sey  $R\text{As}^3$ .

Ferner erklärt Groth höchst unbefangen, daß die wenigen Analysen, welche mehr Arsen als  $R\text{As}^3$  ergeben, sich durch Beimengung von  $\text{CoAs}^3$  erklären, und knüpft hieran die für den Analytiker gewiss sehr schätzbare, wenn auch nicht neue Bemerkung, daß die Resultate der Analysen mit den übrigen Eigenschaften der Substanz in Einklang stehen müssen.

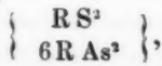
Wenn Jemand in einer Weise, wie Groth dies thut, die Resultate von zahlreichen Analysen aus dem Grunde verwirft, weil sie angeblich mit unreinem Material ausgeführt seyen, so hat er die Verpflichtung, dafür gültige Beweise zu liefern. Er darf sich jedoch nicht auf vage Vermuthungen stützen, er muß darthun, daß gewisse Speiskobalte mit  $\text{CoAs}$ , andere mit  $\text{CoAs}^3$  gemengt sind.

Zu Denen, welche durch analytische Arbeiten die Zusammensetzung des Speiskobalts und ähnlicher Mineralien zu erforschen suchten, darf auch ich mich zählen. Und da gerade ich auf Grund eigener Erfahrungen behauptet habe, im Speiskobalt sey das Verhältnis  $R : \text{As}$  nicht immer  $= 1 : 2$ , sondern schwankend, so trifft der Vorwurf, unreines Material gewählt zu haben, vorzugswise meine Arbeiten. Deshalb sehe ich mich geswungen, die Behauptungen Groth's als ganz unbegründet zurückzuweisen.

In einem krystallisierten Speiskobalt von Riechelsdorf<sup>1)</sup> fand ich die Atomenverhältnisse  $S : R : \text{As} = 1 : 9,74 : 12,2$ . Wird der Schwefel als  $\text{RS}^2$  angenommen, so bleiben  $R : \text{As} = 3 : 4$  übrig. Die Analyse führt zu dem Ausdruck



oder nach Groth zu



1) Handb. der Mineralchemie, 2. Aufl., II, 36. (No. 3).

nicht  
Diesen  
these,  
  
s die  
geben,  
knüpft  
wenn  
Ana-  
Ein-  
  
thut,  
runde  
ausge-  
ältige  
vage  
wisse  
sind.  
e Zu-  
ralien  
Und  
auptet  
nt im-  
wurf,  
meine  
haup-  
  
dorf<sup>1)</sup>  
12,2.  
R : As

gemengt mit 12 R As, d. h. die Krystalle, welche ich analysirte, enthielten etwa 53 Proc. R As beigemengt. Das ist doch mehr als unwahrscheinlich.

Nach Groth sind es nur wenige Analysen, welche mehr Arsen als R As<sup>a</sup> ergeben. Dies ist nicht wahr; ich habe deren elf zusammengestellt <sup>1)</sup>, und unter ihnen findet man wieder zwei krystallisierte Sp. von Riecheldorf, einen von Stromeyer und einen von Sartorius untersuchten. Beide differieren darin, daß Jener nur Kobalt, Dieser Nickel und Kobalt gefunden hat. Nun ist es nicht unwahrscheinlich, daß bei Stromeyer Nickel im Kobalt steckt, was für die Rechnung ziemlich gleichgültig ist. Beide Analysen führen zu

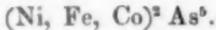
$$\left\{ \begin{array}{l} RS^3 \\ 12 R^2 As^5 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} RS^2 \\ 12 R As^2 \\ 12 R As^3. \end{array} \right\}$$

Nach Groth sind die 12 R As<sup>a</sup> beigemengt, d. h. etwa 53—56 Proc. einer solchen Verbindung. Dasselbe gilt von dem Sp. von Glücksbrunn, in welchem ich 56 Proc. beigemengten Tesseralkies gehabt hätte.

Gerade diese arsenreichen Speiskobalte habe ich zum Gegenstand genauer Versuche gemacht. Ein krystallisirter von Usseglio, Piemont <sup>2)</sup>, ist

$$\left\{ \begin{array}{l} RS^2 \\ 21 R^2 As^5 \end{array} \right\}$$

und müßte 58 Proc. R As<sup>a</sup> als Beimengung enthalten. Ein anderer von Annaberg, nur 0,1 Proc. Schwefel enthaltend, ist



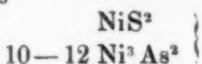
Da dieser sogenannte Speiskobalt oder richtiger Chloanthit Co : Ni = 1 : 12 enthält, so wird Groth gezwungen seyn, 57 Proc. eines hypothetischen Ni As<sup>a</sup> als Beimengung anzunehmen.

1) A. a. O. 44.

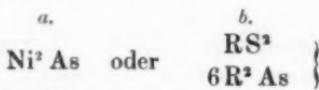
2) Zeitschr. d. geol. Ges. 25, 282.

Man ersieht, zu welchen Folgerungen ganz grundlose, durch nichts gerechtfertigte Behauptungen führen. Und doch ruft Groth entrüstet aus: Wie kann man gar an die Isomorphie von Co As, Co As<sup>2</sup> und Co As<sup>3</sup> glauben<sup>1)</sup>!

Auch außerhalb des Bereiches der Mineralien stößt man auf evidente Beweise für die Isomorphie des Arsen und der elektropositiven Metalle. Ich erinnere an die von G. Rose gemessenen, viergliedrigen Krystalle von *Nickelspeise*, welche nach den Analysen von Wöhler und Schlossberger als



erscheinen. Allein ganz dieselbe Form hat, wie ich früher nachwies, eine Speise, welche Breithaupt als ein Mineral „Plakodin“ beschrieb, und welche nach den Analysen Plattner's (a) und Schnabel's (b)



(R = Ni und Co) ist.

Noch ganz kürzlich hat Laspeyres bewiesen, daß eine aus Hartblei krystallisierte Legirung, welche aus 1 At. Blei und 6 — 8 At. Antimon besteht, die Form, Spaltbarkeit und die Zwillinge des reinen Antimons hat, woraus denn doch zu schließen ist, daß Antimon und Blei isomorph seyen.

In einem Aufsatz: „Ueber die gegenseitigen Beziehungen und die chemische Natur der Arsen- und Schwefelarsenmetalle im Mineralreich“<sup>2)</sup> suchte ich zu zeigen, daß in den beiden heteromorphen Reihen, die Breithaupt einst die Pyritreihe und die Markasitreie nannte, schwefelfreie, schwefelarme und schwefelreiche Glieder vorkommen, daß in der Pyritreihe ebensowohl der Speiskobalt und Chloanthit als der Kobalt- und Nickelglanz stehen, und daß sich in der Markasitreie eine entspre-

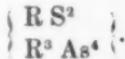
1) Tabellarische Uebersicht IX.

2) Zeitschr. d. geol. Gesellsch. 25, 266.

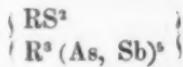
chende Reihenfolge vom reinen Arseneisen bis zum Arsenkies finde. Aber ich machte zugleich darauf aufmerksam, dass das für sich oder mit  $RS^2$  isomorph gemischte Arsen- oder Antimonmetall überhaupt  $R^m As^n$ , d. h. selbst eine isomorphe Mischung darstelle, welche überdies, in Folge von Heteromorphie auch sechsgliedrig (Rothnickelkies, Antimonnickel) auftrete.

Gegen diese Deutung der chemischen Natur der hierher gehörigen, in der mineralogischen Nomenklatur nur mangelhaft unterschiedenen Substanzen hat Groth seine Einwürfe vorzugsweise gerichtet. Bei der Isomorphie des Kobalt- und Nickelglanzes mit dem Speiskobalt und Chloanthit ist es für ihn eine ausgemachte Sache, dass diese letzteren ausschließlich  $RAs^2$  seyen.

Einen besonderen Werth hatte ich auf jene Schwefelarsennickel gelegt, welche man zum Nickelglanz gerechnet hat, weil sie die Form desselben haben, die aber kein Nickelglanz, weil nicht  $RS^2 + RAs^2$  sind. Ein solcher kry stallisirter „Gersdorffit“ von Schladming mit etwa 11 Proc. Schwefel ergab  $S : As : R = 1 : 1,8 : 1,8$ , d. h. fast  $1 : 2 : 2$  oder



Nach Groth müfsten diese Krystalle, Würfel und Oktaeder, welche alle Kriterien einer reinen Substanz an sich tragen, 44 Proc. (Ni, Fe) As beigemengt enthalten. Und selbst in derben Massen von demselben Fundort, welche mehr Antimon als die Krystalle enthalten, und deren Analyse zu



führt, ließen sich durch Pulvern und Schlämmen keine heterogenen Theile auffinden.

**XIII. Ueber die Torricelli'sche Leere;**  
**von James Moser in Berlin.**

**H**rn. Geheimrath Helmholtz gelang es bei seinen Untersuchungen „über galvanische Polarisation in gasfreien Flüssigkeiten“, die derselbe 1874 in den Monatsberichten der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, S. 587, veröffentlichte, „stark verdünnte Schwefelsäure so frei von Gas zu machen, daß sie beim Auspumpen sich nicht mehr vom Gefäße löste, sondern unter dem negativen Druck einer Quecksilbersäule von 60 Millimeter Höhe noch nicht zerriss“. Bei dieser Beobachtung ist nicht nur die Schwefelsäure, wie es zuerst F. M. Donny<sup>1)</sup> 1843 that, einem so hohen negativen Druck unterworfen, sondern, wie sich aus der Beschreibung des Apparats ergiebt, auch das Quecksilber.

Hr. Geheimrath Helmholtz machte mich nun darauf aufmerksam, daß diese Cohäsion der Flüssigkeiten mit den Erscheinungen der Capillarität in Verbindung stehe und daß man vielleicht nach dieser Methode ermitteln könne, wie weit die von Young, Laplace, Poisson, Gauss für den Normaldruck  $P$  einer capillaren Oberfläche, deren Hauptkrümmungsradien  $R$  und  $R_1$  sind, abgeleitete Gleichung

$$P = K \pm \frac{H}{2} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} \right)$$

Gültigkeit behielte, um dann auf die Größe der Wirkungssphäre der Molecularkräfte schließen zu können. Diese Gleichung tritt nämlich für unendlich kleine Krümmungsradien in Widerspruch mit der Erfahrung: Man denke sich innerhalb der Flüssigkeit eine Vacuole; der Zug der daran hängenden Quecksilbersäule strebt diese zu vergrößern, die Capillarkräfte wirken diesem Zuge entgegen.

1) *Mémoire sur la cohésion des liquides et sur leur adhérence aux corps solides. Acad. Bruxelles XVII.*

Während nun die Gleichung aussagt, dass zur Bildung und Vergrößerung einer entstehen wollenden, d. h. unendlich kleinen Vacuole ein unendlich großer Zug erforderlich sey, kann man ein Zerreissen der Flüssigkeit schon bei endlichem Zuge beobachten. Dieser Widerspruch röhrt daher, dass bei der Ableitung der Gleichung das Verhältniss der Grösse der Wirkungskräfte der Molecularkräfte zu den Krümmungsradien der Capillarfläche unendlich klein vorausgesetzt ist, dieses Verhältniss jedoch für unendlich kleine Radien endliche Werthe erhält. Auf diesem Wege würde die Größenordnung der Wirkungssphäre der Molecularkräfte zu ermitteln seyn; die eingehendere theoretische Betrachtung dieses Punktes hoffe ich später durchführen zu können.

Zur experimentellen Ermittelung der Quecksilbersäule, bei der ein Zerreissen der Flüssigkeit eintritt, wendete ich



eine in einem Winkel von  $45^{\circ}$  gebogene  $8\text{mm}$  weite Glasröhre an, deren einer  $1\text{m}$  langer Schenkel oben zugeschmolzen, deren anderer  $20\text{cm}$  langer Schenkel offen und in der Nähe der Umbiegung mit einem Hahne versehen war. Zunächst wurde der kurze Schenkel mit Quecksilber gefüllt, dann die Röhre so geneigt, dass das Quecksilber in den langen Schenkel floß, der Hahn geschlossen, und so durch Wiederholung dieser Operationen der lange Schenkel ganz mit Quecksilber gefüllt. Um die Capillarerscheinungen, welche das Quecksilber zeigt, von denen der Schwefelsäure trennen zu können, experimentierte ich zuerst nur mit Quecksilber. Als ich nun den langen mit Quecksilber gefüllten Schenkel aufrichtete, entstand oben die verdünnte lufthaltige Blase; ich schloss den Hahn, trieb die Blase in der Röhre hin und her, indem ich an anderen Stellen sich bildende kleinere Luftblasen mit ihr zu vereinigen strebte. Dann ließ ich die Blase zum Hahne aufsteigen und

öffnete diesen; aus dem kurzen Schenkel floß jetzt Quecksilber in den langen und verdrängte die verdünnte Luft. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis beim Aufrichten des langen Schenkels, während der Hahn offen war, das Quecksilber nicht mehr wie früher stetig von der Spitze der Röhre zurückwich, sondern haftete. Das Abreissen geschah immer auf die Weise, daß im Innern der Röhre, inmitten des Quecksilbers eine Blase entstand, die sich rasch vergrößerte, schnell bis zur Spitze aufstieg und das Quecksilber sprungweise um ihre Länge fallen ließ. Dieses wich dann bei weiterem Aufrichten stetig zurück. Die Blase hatte eine Länge von 40<sup>mm</sup>; bei Berücksichtigung der Neigung der Röhre ergab sich für die Fallhöhe des Niveaus 30<sup>mm</sup> und, da das Quecksilber im kurzen Schenkel um das gestiegen war, um was es im langen gefallen, eine Totaldifferenz der Niveaux von mindestens 60<sup>mm</sup>. Eine Quecksilbersäule von dieser Höhe war also durch Capillarkraft getragen worden. Als ich den Versuch unmittelbar darauf wiederholen wollte, die Röhre neigte und so das Quecksilber bis zur Spitze steigen ließ, gelang er *nicht*; das Quecksilber zog sich beim Aufrichten der Röhre jetzt stetig zurück. Das kam daher, daß sich nun zwischen dem Quecksilber und dem Glase an der Spitze Luft befand. Entfernte ich diese auf die oben beschriebene Weise, so ließ sich der Versuch wiederholen. Es trat, regelmäßig alternirend, beim ersten, dritten, fünften usw. Male Gelingen, beim zweiten, vierten, sechsten usw. Male Mißlingen ein, so daß es ganz deutlich wurde, daß nur die im sogenannten Vacuum befindliche Luft es ist, die das Haften hindert.

Ich war nun der Meinung, daß es mir schließlich gelingen müßte, die Luft zu entfernen; ich verfuhr nach der Methode der Barometerverfertiger, evakuierte die Röhre vor dem Füllen und kochte die gefüllte Röhre aus. Um lange kochen zu können, ohne daß die Röhre sprang, bediente ich mich eines Wasser haltenden Blechkastens, in welchem die ganze Röhre erwärmt werden konnte. Es

hafteten  
Spuren  
einen z



zeich  
erklä  
blick  
wohl  
etwas  
det,

hafteten jetzt etwa 100<sup>mm</sup>, aber immer zeigten sich noch Spuren von Luft. Ich ließ nun an dem kurzen Schenkel einen zweiten Hahn anbringen. Bis zu diesem wurde evauirt und dann nicht mehr wie vorher die verdünnte Luft durch Quecksilber, das von den mit der Atmosphäre in Berührung gewesenen Wänden Luft hatte abspülen können, verdrängt, sondern vielmehr durch Quecksilber, welches, selbst möglichst luftfrei, in dem Vacuum zwischen den beiden Hähnen aufbewahrt worden war.

Dann, um nicht die Luft, welche sich oben im langen Schenkel sammelte, durch die ganze Röhre zu treiben, brachte ich ebenso zwei Hähne am oberen Ende des langen Schenkels an. So kam ich dahin, eine Quecksilbersäule von 160<sup>mm</sup> Höhe zum Haften zu bringen. Immer jedoch stieg die Luftblase aus dem Quecksilber auf und musste vor Wiederholung des Versuchs, durch den unteren der beiden oben am langen Schenkel angebrachten Hähne in das darüber befindliche Vacuum gespült werden.

Aber, wenn es mir auch nicht gelang, die Luft vollständig zu entfernen, so habe ich doch eine Verdünnung erreicht, welche der der besten Barometer gleichkommt, wenn nicht diese übertrifft. Den Barometerverfertigern ist die Erscheinung des Haftens bekannt und im Lehrbuch von Müller-Pouillet, 7. Aufl., I. 137 ver-

zeichnet: „Die Adhäsion des Quecksilbers an das Glas erklärt einige Erscheinungen, welche für den ersten Anblick auffallend erscheinen. So bleibt z. B., wenn man wohl gereinigte, vollkommen von aller Luft befreite und etwas enge Röhren zum Torricelli'schen Versuch anwendet, manchmal die ganze Quecksilbersäule bis oben hin



suspendirt, und es sind dann erst einige Stöße nöthig, um zu machen, daß die Quecksilbersäule bis zu der dem Luftdruck entsprechenden Höhe herabfällt.“ Meine Versuche zeigen, daß es nicht die Stöße direct sind, die das Gleichgewicht stören, sondern daß durch diese eine Luftblase zum Steigen veranlaßt, dadurch einem grösseren Zuge ausgesetzt wird, sich, nachdem die capillaren Kräfte überwunden, rasch vergrößert, schneller aufsteigt und wie oben dargestellt, das Quecksilber fallen macht.

Den Barometerversetzen ist dieses einmal beobachtete Haften ein Beweis für die Vorzüglichkeit des Barometers. Aus den oben beschriebenen Versuchen ist aber klar, daß sich nun eine, wenn auch sehr geringe Menge Luft oberhalb des Quecksilbers befinden muß.

Ich will noch erwähnen, daß es mir gelang, andere Flüssigkeiten luftleer oder vielmehr, um mich vorsichtig auszudrücken, luftleerer als Quecksilber zu machen. Eine fast 1<sup>m</sup> lange Alkoholsäule befand sich oberhalb einer 150<sup>mm</sup> hohen Quecksilbersäule. Als ich mit der Luftpumpe evakuirte, konnte ich es dahin bringen, daß ein Zerreissen des Alkohols nicht mehr stattfand. Auf die oberste Alkoholschicht wurde ein negativer Druck von 145<sup>mm</sup> ausgeübt. Die Luftblase schien immer in der Trennungsschicht des Alkohols und Quecksilbers zu entstehen; doch glaube ich nicht aussprechen zu dürfen, daß die Luft sich gerade in dieser Schicht befand, sondern möchte annehmen, daß die Luft, welche die Blase bildete, überhaupt aus den oberen Schichten des Quecksilbers stammt. Aus diesem ist sie eben weit schwerer zu entfernen als aus dem Alkohol.

So verschafften mir diese Versuche, die mich nicht zu dem gesteckten Ziele führten, die Gränzen der Giltigkeit der Capillaritätsgleichung zu finden, die Ueberzeugung, daß es bisher nicht gelungen sey, ein luftfreies Vacuum herzustellen.

Nach Abschluß dieser Untersuchung erhalte ich Kenntnis von einem Aufsatz des Hrn. J. R. Mayer: „Die

Tori  
schien  
äther  
aussetz  
vermu  
daß i  
ten is

B

In d  
über  
schein  
wo v  
haben  
daß lich  
That

D  
nach  
nicht  
gel j  
dem

U

Ansi  
spro  
an d  
abpr

1) 2

2) 1

3) V

hig,  
dem  
Ver-  
das  
uft-  
eren  
räfte  
und

Torricelli'sche Leere“, der im März dieses Jahres erschien <sup>1)</sup>). Ausgehend von der Annahme, daß der Lichtäther verdünnte Luft sey und von der unrichtigen Voraussetzung, daß Quecksilberdampf undurchsichtig sey, vermutet derselbe das, was meine Versuche beweisen, daß im sogenannten Vacuum der Barometer Luft enthalten ist.

Berlin, October 1876.

#### XIV. *Versuche mit dem Radiometer;* *von F. Neesen.*

In dem nachfolgenden Aufsatze werde ich einige Versuche über das Radiometer mittheilen, welche, wie es mir scheint, einen entscheidenden Beitrag liefern für die Frage, wo wir die das Radiometer treibende Kraft zu suchen haben. Nach meiner Ansicht geht aus denselben hervor, daß die von mir schon früher aufgestellte Ansicht <sup>2)</sup>, nämlich Luftströmungen als Ursache der Bewegung, in der That die größte Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Durch die bisher angestellten Versuche ist wohl sicher nachgewiesen, daß die das Radiometer bewegende Kraft nicht den Licht- oder Wärmewellen, welche auf die Flügel jenes fallen, an sich zukommt, sondern daß das in dem Apparat befindliche Gas die Mühle bewegt.

Ueber die Wirkungsweise dieses Gases liegen zwei Ansichten vor <sup>3)</sup>). Die eine zuerst von Reynold's ausgesprochene zieht in geistreicher Weise die Reaction der an den Flügeln des Radiometers sich erwärmenden und abprallenden Gastheile in Rechnung; andererseits ist von

1) Zuerst im Württembergischen Staatsanzeiger, dann bei Cotta.

2) Diese Ann. Bd. 156, S. 144.

3) Vergleiche den am Schluss citirten Aufsatze von Finkener.

mir in dem schon erwähnten Aufsatze der Grund gesucht in den Luftströmungen, welche durch das Aufsteigen der an der Platte erwärmten Luft dorthin gerichtet sind. Es ist Sache des Versuches, wenn möglich eine Entscheidung zwischen diesen beiden Ansichten zu fällen.

Ich versuchte ins Klare zu kommen dadurch, daß ich vor oder neben den Flügeln einen Coconfaden leicht belastet aufhängte. Aus einer etwaigen Bewegung dieses Fadens hoffte ich Schlüsse ziehen zu können, da, wenn die Reaction des sich erwärmenden Gases die Ursache seyn sollte, der Faden von der sich rückwärts bewegenden geschwärzten Fläche abgestoßen werden müßte, wo hingegen etwaige Luftströmungen, welche die Drehung bewirkten, den Faden zur abgestoßenen Scheibe hin bewegen müsten. Die in dieser Absicht angestellten Versuche gaben kein Resultat, da keine Bewegung des Coconfadens wahrgenommen werden konnte. Indessen beschäftigte ich mich auch nicht lange mit jenen, da sich ein zweiter Versuch bot, welcher eher einen Endscheid zu liefern versprach.

Wenn nämlich Luftströmungen die Ursache der Drehung der Lichtmühle sind in der Weise, daß die Luft an den bestrahlten Flächen sich erwärmt, aufsteigt und dadurch neue Luft nach sich zieht, so müssen mit der Zeit auch die Wände des Gefäßes, in welchem das Radiometer sich befindet, ebenfalls Einfluß gewinnen, da auch sie sich erwärmen, also bei ihnen derselbe Vorgang sich wiederholt wie an den Flügeln. Ist dagegen die Drehung nur eine Reactionserscheinung, so ist kein Grund vorhanden für einen solchen Einfluß der festen Wände. Es ist nun anzunehmen, daß bei einer unsymmetrischen Stellung des Radiometers innerhalb der Glasglocke, in welcher dasselbe sich befindet, einen etwaigen Einfluß der Wände leicht erkennen lassen wird. In der That zeigt der Versuch auch an, daß die an den erwärmten Theilen der einschließenden Glocke aufsteigenden Lufttheile einen solchen Einfluß ausüben.

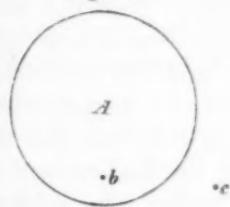
Das von mir benutzte Radiometer, zu dessen Herstel-

ucht  
der  
Es  
lung  
  
s ich  
astet  
dens  
ection  
, der  
erzten  
vaige  
aden  
ie in  
ultat,  
werden  
lange  
eher  
  
hung  
en  
durch  
auch  
sich  
h er-  
rholt  
eine  
für  
an-  
des  
selbe  
leicht  
versuch  
ein-  
lichen  
  
rstel-

jung mir der Rath von Hrn. Prof. Finkener von wesentlichem Nutzen war, besteht aus einem an einem Glashütchen befestigten rechtwinkligen Kreuz von Aluminium, dessen Arme in reckteckige Aluminiumplättchen auslaufen. Das Hütchen ruht auf einer feinen Nähnadelspitze. Der ganze Apparat stand unter einem mit einer Quecksilberluftpumpe verbundenen gewöhnlichen Glasrecipienten. Nachdem so weit ausgepumpt war, daß in der Kugel der Luftpumpe sich keine Luftblase mehr zeigte, wurden folgende Versuche gemacht.

*A* sey der Durchschnitt der Glasplatte des Recipienten, *b* der Ort des Radiometers, welches, wie aus der Fig. 1

Figur 1.



erhellt, excentrisch unter der Glocke aufgestellt ist; *c* ist der Ort der Lichtquelle, bestehend aus einer Petroleumlampe, welche dicht an der Glocke stand. Wurde das Licht angezündet, so fing das Radiometer an sich zu bewegen in der bekannten Art, daß die berufsten Flächen schein-

bar abgestoßen wurden. Diese Drehung dauerte 2 bis 3 Minuten, dann kehrte sie plötzlich um, ein klein wenig bewegten sich die Flügel nach der entgegengesetzten Richtung hin, blieben dann in einer bestimmten Stellung stehen, so lange die Petroleumlampe direct ihre erwärmenden Strahlen auf den Apparat warf. Ich setzte darauf einen Papierschirm zwischen das Licht *c* und die Glocke *A*. Sofort fing das Radiometer an zu rotiren, nun aber in der zuletzt inne gehaltenen Richtung, so daß die berufsten Flächen scheinbar angezogen wurden. Je nachdem die Lampe hinter dem Schirm am Brennen blieb oder nicht, war die Dauer dieser Rotation ganz verschieden. Brannte jene weiter, so drehte das Radiometer sich lange Zeit; ich konnte das Aufhören derselben nicht abwarten. Wurde indefs das Licht gelöscht, so verlangsamte sich die Bewegung allmählig, bis sie nach 15 Minuten bei einer vor-

hergehenden Bestrahlungsdauer von 5 Minuten aufhörte. Während diese Thatsachen sich durch Reactionswirkungen nicht erklären zu lassen scheinen, sind sie ganz in Ueber-einstimmung mit den Folgen, welche die durch Erwärmung der einzelnen Theile des Apparates entstehenden Luftströ-mungen bedingen.

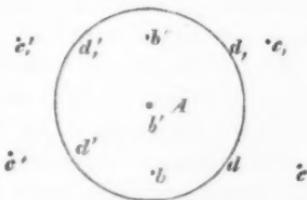
In der ersten Zeit der Bestrahlung erleiden die Flügel des Radiometers die grösste Erwärmung, weshalb durch die nach ihnen gerichteten Luftströme die anfängliche Be-wegung der scheinbaren Abstossung der berussten Flächen entsteht. Gleichzeitig erwärmen sich die den Strahlen der Lampe ausgesetzten Theile der das Radiometer ein-schliessenden Glasplatte, jedoch langsamer, aber um so stärker, je länger die Bestrahlung dauert. Auch hier wer-den die erwärmten Gastheile als die leichteren aufsteigen und ein Strömen des kälteren Gases nach der erwärmten Glaswand bewirken. Da nun das Radiometer unsymmetrisch in der Glocke A steht, so ist es zu erwarten, dass die entstandenen Strömungen die Flügel des Radiometers in einem bestimmten Sinne zu drehen suchen. In welchem Sinne, darauf komme ich später noch zu sprechen. In dem beschriebenen Versuch ist der Sinn der Drehung gerade der entgegengesetzte wieder, welcher durch Erwärmung der Flügel hervorgerufen wird, so dass sich beide Drehungen entgegen wirken und von einem gewissen Moment an und in einer gewissen Stellung des Radiometers gegenseitig auf-heben. Hiermit stimmt die Thatsache, dass nachdem ein Schirm zwischen Apparat und Lampe gestellt war, eine Bewegung eintritt entgegengesetzt derjenigen, welche durch Erwärmung der Flügel allein hervorgerufen wird. Die Aluminiumflügel geben ihre Wärme rasch ab, ebenso leicht wie sie die Wärme aufnehmen, dagegen halten die er-wärmten Theile der umschliessenden Glasmutter die Wärme länger, so dass allein die Luftströme dorthin fortduern. Allerdings würde auch durch die Ausstrahlung der Flügel allein die Bewegung bewirkt werden können, welche beim Verschieben des Schirmes beobachtet wurde, da die be-

rufsten Flächen die vorhandene Wärme rascher abgeben wie die weissen. Indes wider spricht diesem Grunde ein im Nachfolgenden beschriebener Versuch.

Dafs beim Fortbrennen des Lichtes hinter dem Schirm die rückwärts gehende Bewegung länger anhält, als wenn das Licht gelöscht wird, erklärt sich daraus, dass das Licht auch den Schirm erwärmt, der seinerseits dem Recipienten, vor welchem er unmittelbar stand, wieder Wärme zustrahlte und dadurch die Erkaltung der erwärmten Theile hinderte.

Die im Vorstehenden gegebene Erklärung für die angeführten Beobachtungen führt unmittelbar zu Folgerungen, welche entscheidende Prüfsteine für jene abgeben. Es sollen nach dem Vorhergehenden auch Luftströme wirken, welche nach dem Theil  $d$  (Fig. 2) der den Strahlen der Lampe ausgesetzten Seite der Glasglocke gerichtet sind

Figur 2.



Wenn man also das Licht auf die andere Seite der Glocke setzt, etwa links von derselben nach  $c'$ , während in dem ersten Versuch jenes auf der rechten Seite bei  $c$  sich befand, so müssen die durch Erwärmung der Glocke hervorgerufenen Luftströmungen nach  $d'$  gerichtet seyn, mithin gerade entgegengesetzt wirken, wie in dem ersten Falle, d. h. sich addiren zu den Strömungen, welche durch Erwärmung der Flügel entstehen. Es darf deshalb, so lange die Bestrahlung andauert, in der scheinbaren Abstofzung der Flügel keine Änderung eintreten, dieselbe muss im Gegentheil vergrößert erscheinen. Auch sobald der Schirm zwischen Apparat und Lampe gestellt ist, darf, wenn,

wie oben ausgesprochen wurde, die Wirkung des erwärmten Gases dann nach kurzer Zeit stärker ist, wie die der erkaltenden Flügel keine entgegengesetzte Bewegung sich zeigen. Es muß vielmehr das Radiometer in der Drehung beharren, wie sie durch eine Abstofzung der berussten Flächen hervorgerufen wurde. In der That entsprach der Versuch diesen Folgerungen vollständig. War die Anordnung so, wie in Fig. 2 skizzirt, so war die Rückwärtsbewegung der schwarzen Flächen sehr lebhaft, dauerte mit unverminderter Stärke, so lange die Bestrahlung anhielt, blieb auch noch, nachdem der Schirm vor die Lampe gestellt war, nahm dabei aber allmählig ab.

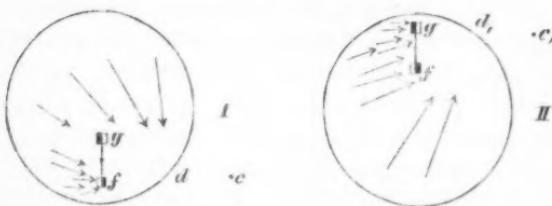
Zur weiteren Prüfung wurde nun die Stellung des Radiometers unter der Glasglocke verändert, zunächst dasselbe in der Mitte  $b'$  (Fig. 2), also symmetrisch zu den Wänden, dann über die Mitte hinaus in  $b''$ , dem der Stellung im ersten Versuch entgegengesetzten Punkt, aufgestellt. Zu bemerken ist, daß die folgenden Versuche mit einem neuen Apparat gemacht wurden. Es stellte sich nämlich heraus, daß bei den ersten Versuchen die Glocke auf dem Teller nicht ganz luftdicht schloß, so daß während des Versuchs geringe Spuren von Luft eintraten, aber so gering, daß innerhalb einer Stunde das an der Pumpe befindliche Quecksilbermanometer keine Veränderung zeigte. Mit dem neuen Apparat, bei welchem während der Dauer von verschiedenen Tagen das Eindringen von Luft nicht bemerkt werden konnte, wurden zunächst die schon mitgetheilten Versuche wiederholt. Es zeigten sich im Wesentlichen dieselben Erscheinungen, nur waren die Bewegungen viel schwächer, so daß z. B. die in dem zu allererst erwähnten Versuch beschriebene anfängliche Rückwärtsbewegung der schwarzen Flächen kaum bemerkt werden konnte, aber wohl der erwähnte Stillstand eintrat. Sobald indes das Licht gelöscht war, trat die dort beschriebene Vorwärtsbewegung ein. Wurde nun in der zweiten Versuchsreihe das Radiometer nach  $b'$  in die Mitte der Glasplatte gebracht, so war kein Grund vorhanden, wesh-

halb die Luftströmungen nach den erwärmten Theilen der Glasglocke die Drehung der Flügel beeinflussen sollten, da die strömende Luft zwei entgegengesetzt stehende Flügel gleichmässig trifft, so daß sich ihre Wirkung aufhebt. Beim Versuch zeigte sich auch in Uebereinstimmung hiermit, daß das Radiometer bei jeder Stellung des Lichtes sich so bewegte, als ob die berüssten Flächen abgestossen wurden.

Befand sich das Radiometer in der dritten Stellung in  $b''$ , so trat wieder der bei der ersten Stellung beobachtete Unterschied auf, je nachdem das Licht auf die rechte oder linke Seite der Glocke gestellt wurde. Indes waren die unter Einfluß der erwärmten Glaswände zu Stande gekommenen Bewegungen gerade entgegengesetzt den Bewegungen in der ersten Versuchsreihe. Stand die Lampe rechts von der Glocke bei  $c$ , so war die Drehung der Flügel während der ganzen Bestrahlungsdauer und auch nach derselben so, als wenn die schwarzen Flächen abgestossen würden, während in der ersten Versuchsreihe bei der correspondirenden Stellung der Lampe in  $c$  zunächst Abstösung, dann Ruhe und nach Entfernung des Lichtes Anziehung eintrat. Stand die Lampe dagegen bei  $c'$ , so trat, wieder entgegengesetzt dem Vorgange bei der correspondirenden Stellung in  $c$  innerhalb der ersten Versuchsreihe, so lange die Bestrahlung dauerte, entweder gar keine Bewegung ein, oder es fand, nachdem das Radiometer einige Zeit in Ruhe verharrt hatte, eine scheinbare Anziehung der schwarzen Flächen statt. In den letzteren Versuchen (Lampe also bei  $c'$ ), hatten die Flügel, nachdem die Lampe weggenommen war, die letzterwähnte Bewegung, Anziehung der schwarzen Flächen; sie blieben somit nach der Entfernung der Strahlenquelle entweder in dieser Bewegung oder gingen aus der während der Bestrahlung andauernden Ruhe in dieselbe über. Auf den letzten Umstand mache ich besonders noch aufmerksam. Meine Erklärung für dieses Verhalten ist wiederum folgende: So lange das Radiometer unter Einfluß der auffallenden Strahlen in Ruhe bleibt, so lange halten sich die Strömungen

nach den Flügeln und die nach den Wänden einander das Gleichgewicht. Strahlt die Lampe nicht mehr Wärme aus, so überwiegen bald die letzteren, da das Glas die Wärme länger hält, wie die Aluminiumplättchen. Dafs die Drehungen in der letzten Versuchsreihe gerade entgegengesetzt seyn müssen den Drehungen in der ersten Versuchsreihe, wenn die beiden entstehenden Luftströme die treibende Kraft abgeben, das zeigt eine einfache Ueberlegung. Im Falle I Fig. 3 empfängt die Fläche  $f$  des

Figur 3.



Radiometers die stärkste Wirkung der durch die Pfeile angedeuteten Luftströmungen nach der erwärmten Stelle  $d$  der Glasglocke; in Folge dessen wird  $f$  dem Glase zuge dreht, die schwarze Fläche angezogen. Wird das Radiometer auf die entgegengesetzte Seite der Glocke gesetzt, wie in Fig. 3, II, so empfängt nun dem Vorigen entsprechend die Fläche  $g$  die stärksten Stoßwirkungen der nach  $d$ , strömenden Luft; wird also der Lampe zugedrängt. Somit werden jetzt die weißen Flächen angezogen.

Schliefslich sey noch das Resultat der Beobachtungen mitgetheilt, welche sich ergaben, wenn die Lampe bei excentrischer Stellung des Radiometers an die entgegengesetzte Seite der Glasglocke gestellt wurde; mithin, wenn das Radiometer nach Fig. 2 in  $b$  stand, nach  $c$  oder  $c'$ , u.s.f. Dann war die Unsymmetrie des Letzteren der Lampe und den erwärmten Glaswänden zusammen gegenüber nicht grofs. Es musste also der Einfluss der Wand verschwinden. In der That zeigte sich, dass hierbei stets Abstoßung der

schwarzen Flächen eintrat, mochte nun die Lampe auf der rechten Seite in  $c$ , oder auf der linken Seite in  $c'$  stehen.

Unter den gemachten Beobachtungen erscheint mir bemerkenswerth die qualitative Uebereinstimmung und der quantitative Unterschied zwischen den Versuchen mit dem nicht ganz luftdichten Apparat und dem zuletzt benutzten vollständig luftdichten. Bei dem ersten sind jedenfalls Luftströmungen von unten nach oben vorhanden und ebenfalls sehr schwache, hervorgerufen durch die Luft, welche zwischen Teller und Glocke eindringt und zwar, wie sich ergab, von allen Seiten. Es werden diese Strömungen durch die Erwärmung einzelner Theile des Apparates nach den erwärmt Stellen gerichtet. Sie verstärken daher die Wirkung der auch ohne Eindringen der Luft im Apparat entstehenden und nach den erwärmten Theilen hingerichteten Strömungen, mithin müssen die Bewegungen lebhafter seyn, wie es der Versuch auch zeigt. Umgekehrt spricht nach meiner Meinung diese qualitative Uebereinstimmung dafür, daß die Drehungen bei luftdichtem Apparat in der That ebenso Luftströmungen zuzuschreiben sind, wie die Verstärkung jener bei dem etwas durchlässigen Apparat tatsächlich aus solchen Strömungen entsteht.

---

Nachdem die vorstehende Arbeit im Wesentlichen niedergeschrieben war, erhielt ich durch die Güte von Hrn. Prof. Poggendorff die Druckbogen eines ausführlichen Aufsatzes über das Radiometer von Prof. Finkener<sup>1)</sup>). In derselben werden außer anderen interessanten Versuchen ähnliche, wie ein Theil der von mir beschriebenen mitgetheilt. Jedoch ist der Unterschied, daß die Flügel meines Radiometers stets rechtwinklig zu einander standen und zu je zwei mit der Drehungsaxe in einer Ebene lagen, während Finkener bei seinen Versuchen mit excentrisch unter der Luftglocke aufgestelltem Radiometer die Flügel gegen einander und gegen die Verbin-

1) Diese Ann. 1876, Septemberheft.

dungslinie derselben gegen den Drehpunkt geneigt hatte. Deshalb sind die Schlüsse, welche Finkener aus dieser Stellung der Flügel zieht, um die Drehung in verschiedenen Richtungen mit seiner Erklärungsweise in Einklang zu bringen, auf meine Versuche nicht anwendbar. Auch weiß ich mit der in dem letzterwähnten Aufsatz aufgestellten Erklärung der Radiometerbewegung aus der atomistischen Gastheorie nicht in Uebereinstimmung zu bringen den Umstand, daß, wie Versuche zeigen, während der Bestrahlungsdauer das Radiometer ruhen, dann aber, wenn die Bestrahlung aufhört, in lebhafte Bewegung gerathen kann. Die von Finkener angeführten Versuche lassen sich dagegen durch Luftströmungen gut erklären; nur das Resultat des Versuchs mit durchbrochenen Flügeln giebt einige Schwierigkeit. Ich denke auf ihn in einem nächsten Aufsatz zurückzukommen.

August 1876.

#### Nachschrift.

Seit dem Einreichen der vorstehenden Arbeit an die Redaktion dieser Annalen habe ich die im Obigen geschilderten Versuche noch dahin erweitert, daß ich statt Radiometer mit theilweise berufsten Flächen, solche anwandte, bei welchen keine der Glimmerflächen geschwärzt war. Auch bei diesen wurden die oben gezogenen Schlüsse vollkommen bestätigt gefunden. Wenn Luftströmungen die Ursache der Bewegung des Radiometers sind, so muß, da solche Luftströmungen auch durch Erwärmung der äußeren Glashülle entstehen, das unberufste Radiometer von diesen ebenfalls bewegt werden und zwar in einer bestimmten den oben solchen Luftströmungen zugeschriebenen Erscheinungen entsprechenden Weise. Dagegen müssen alle Bewegungen verschwinden, welche von der ungleichen Erwärmung der verschiedenen Theile des Radiometers selbst herrühren. In der That waren die gefundenen Resultate dem ganz entsprechend. Auch ein Radiometer, bei welchem keine Fläche der Flügel beruft

ist, also einen o  
quelle z  
vorausg  
steht.  
jenige,  
ströme  
chen ve

Da  
nicht b  
Ueberfl  
werden  
starken

Fi



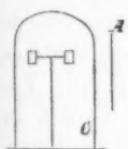
will i  
anderv  
Elektr  
schließ  
hierdu  
wie ic  
mittel  
contin  
werde  
trisch  
trosk

ist, also alle Flächen gleich sind, dreht sich nach der einen oder anderen Seite, je nach der Stellung der Wärmequelle zur umhüllenden Glasglocke und zum Radiometer, vorausgesetzt, daß letzteres excentrisch in der Glocke steht. Und zwar ist der Sinn der Drehung ganz derjenige, welchen die angegebene Erklärung durch Luftströme nach den Versuchen mit theilweise berufenen Flächen verlangt.

Dafs übrigens die Lichtstrahlen als solche die Drehung nicht bewirken, sondern nur die Wärme, dafür möge zum Ueberfluß noch ein experimenteller Grund angegeben werden. Es wurde ein Schirm *A* (Fig. 4) von blauem, starken Papier zwischen Licht *B* und Glasglocke *C* ge-

Fig. 4. stellt, so dafs die Lichtstrahlen gar nicht direct auf die Flügel fallen konnten und doch drehte sich das Radiometer mit ungeschwärzten Flügeln unter Einfluß der Erwärmung der von dem Lichte direct beschienenen Theile der Glasglocke, der von diesen zu den oberen Theilen der Glasglocke fortgesetzten Erwärmung und der Erwärmung des Schirmes. Erwähnen

will ich noch schlieflich, daß das Radiometer, wie auch anderweitig beobachtet ist, sehr empfindlich ist gegen Elektrisirung. Es scheint sich beim Erwärmen die einschließende Glasglocke etwas zu elektrisiren und auch hierdurch einen Einfluß auszuüben. Indefß kann dadurch, wie ich mich durch directe Elektrisirung der Glasglocke mittelst eines Quecksilberstrahles überzeugt habe, keine continuirliche Drehung des Radiometers hervorgerufen werden. Die Empfindlichkeit des Radiometers gegen elektrische Einflüsse könnte wohl zur Construction eines Elektroskops oder gar Elektrometers benutzt werden.



**XV. Untersuchungen über die Bewegungen  
strahlender und bestrahlter Körper;  
von F. Zöllner.**

---

In meiner Abhandlung „über die physikalischen Beziehungen zwischen hydrodynamischen und elektrodynamischen Erscheinungen“<sup>1)</sup> hatte ich im Zusammenhange mit anderen Beobachtungen auf die Folgerungen hingewiesen, welche sich aus der elektromagnetischen Theorie des Lichtes für die repulsive Kraft eines Lichtstrahles ergeben. Bekanntlich hat Hr. Maxwell<sup>2)</sup> diese Theorie in neuerer Zeit in einigen ihrer Consequenzen so erfolgreich entwickelt, dass es Hrn. Boltzmann u. A. möglich war, die Ergebnisse jener Theorie durch neue und überraschende Thatsachen der Beobachtung zu bestätigen. Es schien daher geboten, dieser Theorie auch in Bezug auf diejenigen Erscheinungen eine nähere Beachtung zu Theil werden zu lassen, welche eingehender zuerst von Fresnel<sup>3)</sup>, besonders aber von Mark Watt<sup>4)</sup> und Muncke<sup>5)</sup>, und am erfolgreichsten in unseren Tagen von Hrn. Crookes untersucht und beschrieben worden sind.

Hr. Maxwell spricht in seinem 1873 erschienenen Werke „*Treatise on Electricity and Magnetism*, Vol. II, p. 391“ die erwähnte Folgerung der repulsiven Wirkung eines Lichtstrahles in folgendem Satze aus:

„Ein flacher, dem Sonnenlichte ausgesetzter Körper würde diesen Druck nur auf seiner erleuchteten Seite erleiden, und würde deshalb an der Seite, auf welche

- 1) Berichte d. Königl. Sächs. Ges. d. W. Sitzung vom 12. Febr. 1876.
- 2) Sitzungsberichte d. Kais. Akad. d. W. zu Wien, 23. April 1874.
- 3) *Ann. de Chim. et de Phys. T. XXIX*, p. 57ff. u. p. 107 (13. Juni 1825).
- 4) *Edinburgh new Philos. Journal Vol. V*, p. 122—128 (1828 April — September).
- 5) Pogg. Ann. Bd. 17 (1829) S. 159—165. — Bd. 18, S. 239—240. — Bd. 20, S. 417. — Bd. 25, S. 241—270. — Bd. 29, S. 381—403. (1833.)

das Licht fällt, zurückgestoßen werden. Es ist wahrscheinlich, dass eine viel größere Energie der Strahlung mit Hülfe der concentrirten Strahlen des elektrischen Lichtes erzielt werden würde. Solche Strahlen, indem sie auf eine dünne Metallscheibe fallen, welche leicht beweglich in einem Vacuum aufgehängt ist, mögen vielleicht einen bemerkbaren mechanischen Effect erzeugen.“<sup>1)</sup>

Hr. Maxwell berechnet a. a. O. einen numerischen Werth des Druckes, welchen ein Sonnenstrahl auf einen Quadrat-Fuß jener Theorie gemäfs ausüben müfste, indem er bemerkt:

*„the mean pressure on a square foot is 0,000 0000882 of a pound weight.“*

In meiner oben citirten Abhandlung hatte ich zu zeigen versucht, dass die elektrodynamische Theorie der Materie auch vom atomistischen Standpunkte zu ähnlichen Resultaten, wie die Theorie Maxwell's führt und war gelegentlich bemüht, diese Resultate zur Erklärung der scheinbaren Abstofzung und Anziehung der Körper durch Bestrahlung zu verwerthen. Gleichzeitig hatte ich a. a. O. darauf aufmerksam gemacht, dass der von Maxwell theoretisch erlangte Werth ungefähr 100 000 Mal kleiner sey als der von Crookes in einem speciellen Falle beobachtete Werth der Resultate.<sup>2)</sup>

Wenn der hier stattfindende Unterschied der wirksamen Kräfte in der That begründet ist, so würde sich hieraus

1) „A flat body exposed to sunlight would experience this pressure on its illuminated side only, and would therefore be repelled from the side on which the light falls. It is probable that a much greater energy of radiation might be obtained by means of the concentrated rays of the electric lamp. Such rays falling on a thin metallic disc, delicately suspended in a vacuum, might perhaps produce an observable mechanical effect“ (p. 391. l. c.).

2) Vgl. *Times* v. 15. Febr. 1876. „Mr. Crookes has made experiments on the sun's light, and has worked out some calculations on it. It is equal to a pressure of 32 grains on the square foot“ (1 pound = 5760 grains).

ergeben, dass die elektromagnetische Theorie des Lichtes zur Erklärung der in den Crookes'schen Radiometern auftretenden Bewegungserscheinungen nicht ausreichend ist. Bevor jedoch hierüber endgültig entschieden werden kann, bedarf es zunächst der Anstellung eines Versuches, bei welchem möglichst vollkommen diejenigen Bedingungen realisiert sind, welche Hr. Maxwell in dem oben citirten Satze gefordert hat. Um diesen Bedingungen zu genügen, stellte ich folgenden Versuch an.

#### Erster Versuch.

In einem Glasgefäße von der Grösse und Form der jetzt allgemein verbreiteten Radiometer (Fig. 1, Taf. II) ist an dem einen Ende eines schmalen Aluminiumstreifens ein Goldblättchen in Form einer kreisförmigen Scheibe von etwa 35<sup>mm</sup> Durchmesser befestigt. Der Aluminiumstreifen ist vermittelst eines Glashütchens ganz wie in den Radiometern auf einer verticalen Stahlspitze leicht beweglich. Das Innere des Gefäßes wurde mit Hülfe einer Quecksilber-Luftpumpe und den erforderlichen Trockenapparaten ebenso leer gepumpt wie ein Radiometer. Wird nun das Goldblättchen von der einen Seite einer senkrechten Bestrahlung durch *Sonnenlicht* ausgesetzt, so beobachtet man keine gesetzmässige Abstösung. Das Goldblättchen zeigt sich fast indifferent gegenüber der Bestrahlung und nimmt selten eine solche Stellung ein, dass die eine Seite intensiv bestrahlt, die andere beschattet ist.

#### Modificationen des Versuches.

**Erste Modification.** Der beschriebene Erfolg ist derselbe, wenn an Stelle des Goldblättchens ein Silberblättchen oder eine auf beiden Seiten vollkommen *ebene* und überall gleich blanke Scheibe von dünnem Aluminiumblech benutzt wird (Fig. 1a, Taf. II).

**Zweite Modification.** Um die Verschiedenheit zwischen der *direct* und *indirect* (durch Reflexionen von der Gefäßwand und den umgebenden Objecten) bestrahlten Seite nicht

durch Leitung der Wärme im Innern der dünnen Metallflächen aufzuheben — was bei der geringen Dicke eines Goldblättchens wohl fast vollkommen geschieht — wurde an Stelle der oben erwähnten Scheibe von Aluminiumblech ein Glimmerblättchen benutzt und dieses von *beiden* Seiten mit gleich grossen, *ebenen* und nicht geschwärzten Platten von Aluminiumblech beklebt (Fig. 1b, Taf. II). Auch eine so präparierte ebene Scheibe wird durch senkrechte Bestrahlung durch Sonnenlicht nicht afficit. Während eine grössere Zahl verschiedener Radiometer im hellen Sonnenschein in lebhafter Bewegung sich befinden, verharrt der zuletzt beschriebene Apparat unbeweglich in einer Stellung, bei welcher die eine Seite der Platte nahezu senkrecht von den Sonnenstrahlen getroffen wird.

*Dritte Modification.* Wird eine ebene Aluminiumscheibe nur *einseitig* mit einer Glimmerscheibe beklebt, und von der nicht beklebten, metallischen Seite durch die Sonne bestrahlt, so erfolgt eine sehr kräftige Abstossung (Fig. 1c). Radiometer, deren Flügel, wie im vorliegenden Falle, aus blankem Aluminiumblech bestehen und statt der einseitigen Schwärzung einseitig mit Glimmerblättchen beklebt sind, haben Hr. Crookes<sup>1)</sup> und die Gebrüder Alvergnat<sup>2)</sup> mit Erfolg construirt.

#### Folgerungen.

Die bisher mitgetheilten Versuche berechtigen, wie ich glaube, zu folgenden Schlüssen:

*Erstens.* Der Temperatur-Unterschied, welcher durch einseitige Bestrahlung einer ebenen Metallfläche zwischen der beleuchteten und beschatteten, oder, was in Wirklichkeit dasselbe ist, zwischen der direct und indirect durch Reflexe bestrahlten Seite erzeugt wird, kann nicht die Ursache der in den oben erwähnten Radiometern beobachteten Bewegungen seyn. Denn in der dritten Modi-

1) *London Royal Society* 10. Febr. 1876 und *Comptes rendus* 11. Sept. 1876, p. 572.

2) *Comptes rendus* 24. Juillet 1876.

fication (Fig. 1 c, Taf. II) muß offenbar der Temperaturunterschied zwischen den bestrahlten und beschatteten Flächenelementen  $p$  und  $p'$  kleiner als in der zweiten Modification (Fig. 1 b) seyn, indem hier die bestrahlte und beschattete Seite nicht nur durch die Dicke des Glimmerblättchens, sondern auch noch durch die doppelte Dicke des Aluminiumbleches von einander getrennt sind, und daher nothwendig die Ausgleichung der Temperaturdifferenz durch Leitung zwischen der beleuchteten und beschatteten Seite eine geringere als in der zweiten Modification seyn muß. Da nun aber trotz der grösseren Temperaturdifferenz bei dieser zweiten Modification (Fig. 1 b) keine merkliche Abstossung erfolgt, dagegen in der dritten Modification (Fig. 1 c) bei einer kleineren Temperaturdifferenz eine sehr energische Abstossung eintritt, so kann eine Theorie, welche (wie z. B. die mechanische Gastheorie) eine Temperaturdifferenz zur nothwendigen Voraussetzung ihrer Deductionen macht, nicht zur Erklärung der oben beschriebenen Bewegungserscheinungen benutzt werden<sup>1)</sup>.

**Zweitens.** Da die Existenz einer repulsiven Wirkung der Sonnenstrahlen auf die flache Seite einer ebenen Metallfläche durch die obigen negativen Versuche nicht *absolut*, sondern nur *relativ* (für die vorhandenen Reibungswiderstände in den gewöhnlichen Radiometern) widerlegt ist, und die elektromagnetische Theorie des Lichtes nach Maxwell's Berechnung nur 0,00001 von derjenigen Kraft liefert, welche Crookes a. a. O. durch directe Beobachtung in einem speciellen Falle ermittelt hat, so folgt hieraus, dass die erwähnten negativen Resultate *nicht im Widerspruche* mit der elektromagnetischen Theorie der Strah-

1) Die sogenannte mechanische oder kinetische Gastheorie, welche gegenwärtig, wie es scheint, von der Mehrzahl der Physiker als Ausgangspunkt für die Erklärung der radiometrischen Erscheinungen benutzt wird (indem die grössere Geschwindigkeit, mit welcher die Gasmoleküle von der höher temperirten Seite der beweglichen Flügel abprallen sollen, zur Erklärung einer Repulsivkraft dient), ist folglich nicht im Stande die beschriebenen Versuche zu erklären.

lung stehen. Denn eine hunderttausend Mal schwächere Kraft als die in den Radiometern wirksame, würde wohl überhaupt nicht im Stande seyn, die Reibungswiderstände in diesen Apparaten zu überwinden. Wenigstens habe ich bis jetzt im Lichte des Vollmondes, welches nach meinen photometrischen Messungen nahezu 600 000 Mal schwächer als das Sonnenlicht ist<sup>1)</sup>), selbst unter den günstigsten Verhältnissen nicht die geringste Bewegung an den empfindlichsten Radiometern beobachten können.

#### Zweiter Versuch.

Auf das *Goldblättchen* des in Fig. 1, Taf. II dargestellten Apparates wurden, mit Hülfe einer Linse von 37<sup>mm</sup> Durchmesser und 100<sup>mm</sup> Brennweite, concentrirte Sonnenstrahlen geleitet, und zwar so, daß das im Brennpunkte der Linse entstehende Sonnenbildchen sich scharf auf einer bestimmten Stelle des Goldblättchens projicirte. Hierbei machte ich die überraschende Beobachtung, daß das Goldblättchen bald lebhaft *abgestossen*, bald ebenso stark *angezogen* wurde. Es ergab sich, daß die Art der beobachteten Wirkung an der Stelle auf der Oberfläche des Goldblättchens abhängig war, auf welcher sich das Sonnenbildchen projicirte. Je nachdem diese Stelle wechselte, trat bald Anziehung, bald Abstossung ein. Da ich mir die betreffenden Stellen leicht merken konnte, war ich im Stande, ganz nach Belieben, bald den einen, bald den entgegengesetzten Effect hervorzurufen.

Eine genauere Untersuchung derjenigen Stellen, welche ganz besonders auffallend die bezeichneten Unterschiede zeigten, ließen mich sehr bald die Bedingungen auffinden, von denen die beabsichtigte Wirkung abhängt. Das Goldblättchen ebensowohl wie das Silberblättchen, welches genau dieselben Erscheinungen zeigte, besitzen keine *ebenen* Oberflächen, wie ein dickeres Metallblech, sondern

1) Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physische Beschaffenheit der Himmelskörper. Leipzig 1865, S. 105 bis 110.

sind mit mannigfachen kleinen Falten, Einbiegungen und Krümmungen versehen. Fig. 2, Taf. II mag den verticalen Querschnitt eines solchen Gold- und Silberblättchens mit seinen Unebenheiten im vergrößerten Maafsstäbe darstellen. Jedesmal nun, wenn das Sonnenbildchen im Brennpunkte der Linse auf eine Stelle fiel, welche ihre *Concavität* der Bestrahlungsrichtung zuwendet, findet scheinbar eine Anziehung statt, d. h. eine Bewegung des Goldblättchens nach der Lichtquelle zu; fällt jedoch das Sonnenbildchen auf eine *Convexität*, so findet eine ebenso lebhafte *Abstofzung* statt, d. h. eine Bewegung des Goldblättchens von der Lichtquelle fort.

### Dritter Versuch.

Auf Grund dieser Beobachtungen hegte ich die Erwartung, daß sich Radiometer construiren lassen würden, bei welchen die bisher erforderliche *qualitative* Verschiedenheit der beiden Seiten der Flügel lediglich durch eine *formelle* Verschiedenheit ersetzt werden könnte. Ich ließ demgemäß verschiedene Radiometer aus blankem Aluminiumblech anfertigen, bei denen die bisher üblichen Flügel durch Halbschalen (Fig. 3, Taf. II), Hohlkegel (Fig. 4) und Halbcylinder (Fig. 5) von *nicht geschwärztem* Aluminium ersetzt sind<sup>1)</sup>. Sämmtliche Radiometer, trotzdem sie nur aus zwei Flügeln bestehen, besitzen eine sehr große Empfindlichkeit und bewegen sich unter dem Einflusse der Sonnen-

1) Hr. R. Götze in Leipzig (Turnerstrasse 15) hat sich mit großer Geschicklichkeit und Ausdauer der Anfertigung solcher Radiometer unterzogen.

Wie ich nachträglich ersehen habe, sind bereits derartige Radiometer von Hrn. de Fonvielle in einer Note „sur les radiomètres d'intensité“ (*Comptes rendus* 7. Août 1876) und ebenso von Hrn. Crookes in dem mir während des Druckes dieser Arbeit zu Gesicht gekommenen letzten Hefte der *Comptes rendus* vom 27. Dec. 1876 beschrieben worden. Am 24. December habe ich bei meiner Anwesenheit in Berlin Hrn. Prof. Poggendorff ein aus Halbcylindern von nicht geschwärztem Aluminium construirtes Radiometer zur Verfügung gestellt.

strahlen in einer solchen Richtung, daß die Concavität im Sinne der Bewegung vorausgeht. Das Gleiche findet statt, wenn an Stelle des Aluminiums durchsichtiges Glas angewandt wird. Ein Radiometer mit *gläsernen* Halbschalen, deren Masse beträchtlich größer als derjenigen von Aluminium war, bewegte sich, wenn auch langsamer, im Sonnenlichte nach der gleichen Richtung.

#### Theoretische Betrachtungen.

Die in Fig. 3, Taf. II dargestellte Form des Radiometers mit Halbschalen stimmt hinsichtlich seiner Gestalt und Construction vollkommen mit einem *Anemometer* über ein, wie dasselbe gegenwärtig allgemein auf meteorologischen Observatorien benutzt wird. Ein solches Anemometer rotirt unter dem Einfluß irgend welcher Luftströmungen stets in demselben Sinne und zwar so, daß die *convexe Seite vorangeht*.

*Die Rotation eines Anemometers unter dem Einflusse von Luftströmungen erfolgt also im entgegengesetzten Sinne der Rotation des beschriebenen Radiometers unter dem Einflusse von leuchtenden Strahlen.* Ich schließe hieraus, daß die Ursache der Rotation des Radiometers in diesem Falle nicht durch Strömungen eines im Innern des Gefäßes noch vorhandenen Gases gesucht werden kann. Denn eine jede solche Strömung, gleichgültig von welcher Seite sie die halbkugelförmigen Flügel trafe, müßte nach denselben hydrodynamischen Principien wie beim Anemometer eine entgegengesetzte Rotation von der tatsächlich beim Radiometer beobachteten erzeugen.

Es entsteht also die Frage, ob wir in der Natur überhaupt Kräfte kennen, deren Intensität und Wirkung auf eine gekrümmte Metallfläche von der Grösse und Richtung des Krümmungshalbmessers abhängen. Wären *statische* Kräfte bei einer *constanten* Vertheilung an der Oberfläche von Körpern im Stande *permanente* Bewegungen zu erzeugen, so könnte man an die Vertheilung statischer Elektricität denken, wobei das Potential auf der convexen Seite

größer als auf der concaven seyn müfste. Allein ganz abgesehen davon, daß dieser Schluß nur für leitende Körper Gültigkeit besitzt, und die radiometrischen Bewegungen auch bei Anwendung *gläserner Halbschalen* (Modification des dritten Versuches) stattfinden, ist *a priori* klar, daß *statische Kräfte* bei *constanter Vertheilung* zwar ein Directionsmoment, aber niemals *permanente Bewegungen* mit Ueberwindung von Reibungswiderständen erzeugen, d. h. *Arbeit leisten können*. Es ist folglich eine constante Vertheilung statisch-elektrischer Kräfte an der Oberfläche bestrahlter Körper principiell als Erklärungsprincip der radiometrischen Erscheinungen auszuschließen<sup>1)</sup>). Es können folglich nur *lebendige Kräfte* seyn, welche permanent unter dem Einflusse einer Bestrahlung an der Oberfläche der Körper derartig entwickelt werden, daß hieraus eine constant gerichtete Triebkraft für den bestrahlten Körper resultirt.

Die einfachste Hypothese, welche mir vorläufig dieser Bedingung zu genügen scheint und zugleich gestattet, sich

1) Dieses Princip ist von Muncke im Jahre 1830 zur Erklärung der von Mark Watt und ihm selber beobachteten Erscheinungen benutzt worden. In Pogg. Ann. Bd. 18, S. 239 schreibt Muncke an den Herausgeber der Annalen wörtlich:

„Die räthselhaften Drehungen des Waagebalkens in der Coulomb'schen Drehwaage, die ich Ihnen im Herbst gemeldet habe, sind nichts anders, als Wirkungen der Thermo-Elektricität, so sehr ich auch geneigt war, gerade diese auszuschließen, und sind die nämlichen Erscheinungen, welche nach Mark Watt im Edinburgh Journ. of Science 1828 vom Lichte und nach Pfaff in Schweigg. Journ. LVI von der Wärme herrühren sollen. Das Glas wird nämlich durch einen Temperaturunterschied von etwa nur 2° C. elektrisch, von 20° C. bis — 15° C. und bei jeder Witterung . . .“

Wie man sieht, wird auch hier, wie bei der Erklärung durch die mechanische Gastheorie, ein *Temperaturunterschied* zwischen der direct und indirect bestrahlten Seite als wesentliche Bedingung vorausgesetzt, was nach der zweiten und dritten Modification des ersten der oben beschriebenen Versuche unstatthaft ist. — In neuester Zeit ist die elektrische Theorie wieder von P. Delsaulx (*Les Mondes* 31. Août 1876) vertreten worden.

eine construirbare Vorstellung von dem fraglichen Prozesse zu machen, ist, wie ich glaube, die folgende:

#### Hypothes.

*Die durch Undulationen des Aethers von der Oberfläche eines Körpers direct oder indirect ausgesandten Strahlen sind gleichzeitig von einer Emission materieller Theilchen nach der Richtung der Strahlen begleitet. Die Anzahl, Masse und Geschwindigkeit, der in der Zeiteinheit emittirten Theilchen, hängt von der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Oberfläche und von der Energie und Beschaffenheit der ausgesandten Strahlen ab.*

#### Folgerungen aus der Hypothese.

Ich werde aus der vorstehenden Hypothese zunächst die bisher beschriebenen Erscheinungen ableiten und alsdann weitere Folgerungen aus derselben entwickeln, welche experimentell geprüft werden können.

In Fig. 7, Taf. II stelle  $apb$  den Durchschnitt eines der halbkugelförmigen Flügel des Radiometers Fig. 3 dar. Bezeichnet  $p$  ein Flächenelement auf der convexen Seite und  $AB$  die Projection einer Tangentialebene in diesem Element, so werden der Hypothese gemäß Theilchen nach allen Punkten der über  $AB$  beschriebenen Hemisphäre ausgesandt. Das diesem Elemente auf der concaven Seite parallel gegenüber liegende Element  $p'$  sendet gleichfalls Theilchen nach allen Richtungen aus, von denen jedoch nur diejenigen die concave Seite der Halbschale  $apb$  unbehindert verlassen können, welche von dem Kegelmanntel  $Cp'D$  mit einem Oeffnungswinkel von  $90^\circ$  umschlossen werden. Die hieraus entspringenden Reactionskräfte lassen sich zu zwei Resultanten  $r$  und  $R$  in der den Elementen  $p$  und  $p'$  gemeinsamen Normalen  $NN$  vereinigen. Da die Anzahl der wirksamen elementaren Componenten für das Element  $p$  auf der convexen Seite eine grössere als für das Element  $p'$  auf der concaven ist, so ist auch die Reactions-Resultante auf das Element  $p$  (in einem mathematisch

leicht bestimmbarer Verhältnisse), grösser als auf das Element  $p'$ . Diese Betrachtung, auf alle Elemente der concaven und der convexen Fläche ausgedehnt, ergiebt bei gleicher Stärke der Emission einen Ueberschuss der Reactionskraft für die convexe Seite.

Wird eine solche gekrümmte Fläche von einer Seite bestrahlt, so muss im Allgemeinen der Emissionsproceß von der bestrahlten Seite stärker als von der beschatteten seyn. Dieser Unterschied wird aber um so geringer werden, je dünner und besser *leitend* das Material jener Fläche ist. Bei durchstrahlbaren Körpern wird gleichfalls die Dicke und Absorptionsfähigkeit derselben für diesen Unterschied maafsgebend seyn. Bei sehr dünnen Metallblättchen wird daher die Richtung, von welcher das Blättchen bestrahlt wird (ob von der convexen oder concaven Seite her), gleichgültig für die Bewegungsrichtung seyn. Es muss daher in diesem Falle bei Bestrahlung der convexen Seite eine Abstösung, bei Bestrahlung der concaven Seite eine scheinbare Anziehung nach der Strahlenquelle beobachtet werden. Auf diese Weise erkläre ich mir die im *zweiten* Versuche beschriebenen Erscheinungen, nämlich die abwechselnde Anziehung und Abstösung eines Gold- und Silberblättchens, je nachdem das im Brennpunkte einer Linse befindliche Sonnenbild auf eine Concavität des Blättchens fällt.

#### Vierter Versuch.

Um zu zeigen, daß auch die concave Seite, unserer Hypothese gemäß, bei der Bestrahlung zurückgestossen wird, muss aus den soeben angeführten Gründen die Wärmeleitung zwischen der concaven und convexen Seite vermindert werden, was z. B. durch eine grössere Dicke des benutzten Metallbleches und einen weniger gut leitenden Ueberzug desselben von möglichst grossem Emissionsvermögen bewirkt werden kann.

Zu diesem Zwecke wurden die halbcylinderförmig gebogenen Flügel aus Aluminiumblech auf *beiden* Seiten gleich-

mässig mit Lampenruß geschwärzt. Wurde nun ein mit solchen Flügeln versehenes Radiometer mit Hülfe eines Schirmes zur Hälfte beschattet, und zwar so, daß in dem Falle die Strahlen nur die *concave* Seite (Fig. 8a, Taf. II), in dem andern Falle nur die *convexe* Seite (Fig. 8b) trafen, so fand in beiden Fällen eine kräftige Abstösung und folglich eine entgegengesetzte Rotation statt, wie dies in den Figg. 8a und 8b versinnlicht ist. Die Geschwindigkeit dieser Rotation war aber bei der Bestrahlung der convexen Seiten eine beträchtlich viel schnellere als bei der Bestrahlung der concaven Seiten. Hieraus folgt, daß bei *gleichseitiger* Bestrahlung (nach Entfernung des Schirmes) eine Rotation im Sinne der schnelleren Bewegung stattfinden muß und daß diese in der That stattfindende Bewegung, der aufgestellten Hypothese entsprechend, aus der *Differenz* zweier ungleichen, in entgegengesetzter Richtung wirkenden Reactionskräfte resultirt.

Es folgt aus diesen Thatsachen ferner, daß die Rotation eines Radiometers eine um so schnellere seyn muß, je mehr der Emissionsproces auf der einen Seite verstärkt, auf der anderen vermindert wird. Werden daher in einem beschriebenen Radiometer nur die *convexen* Seiten geschwärzt<sup>1)</sup> und die concaven durch dünne Glimmerblättchen geschützt, welche aus später anzuführenden Gründen, in Form eines ebenen oder besser noch eines gleichfalls cylindrisch gebogenen Schirmes der concaven Seite gegenüber befestigt werden, so erhält man, wie der Versuch lehrt, Radiometer von ungemein großer Empfindlichkeit. (Vgl. den Schluss S. 160.)

#### Weitere Folgerungen aus der Hypothese und ihre Prüfung durch Versuche.

Wenn die durch die Undulationen von Licht- und Wärmestrahlen erzeugte materielle Emission von Theilchen

1) Auch die Construction dieser Radiometer hat Hr. Crookes in seiner oben citirten Note in den *Comptes rendus* vom 27. Dec. 1876 bereits mitgetheilt.

in der Natur wirklich stattfindet, so muß auch eine ruhende, horizontale Körperoberfläche unter denselben Bedingungen Theilchen aussenden, wie z. B. die blanken oder geschwärzten Flächen von Aluminium in den Radiometern. Es muß daher auch möglich seyn, die bewegende Kraft dieser Emission nicht nur durch *Reactions*-Wirkungen, wie in den bisher beschriebenen Radiometern, sondern auch *direct* durch den Stoß der ausgesandten Theilchen nachzuweisen. Diese Folgerung wird durch den folgenden Versuch bestätigt.

#### Fünfter Versuch.

Fig. 9, Taf. II stellt ein Radiometer dar, dessen Flügel aus durchsichtigen, *nicht* geschwärzten, ebenen Glimmerblättchen bestehen. Dieselben sind gegen den Horizont unter einem Winkel von etwa  $35^{\circ}$  geneigt, so daß Theilchen, welche vorwiegend auf die obere oder untere Seite diese Flügel treffen, das bewegliche Kreuz wie eine Windmühle nach der einen oder anderen Richtung in Rotation versetzen müssen.

Das so eben beschriebene Kreuz zeigt für sich allein in derselben Weise wie die Radiometer-Kreuze in einem Glasgefäß eingeschlossen, selbst im hellsten Sonnenscheine keine rotirende Bewegung. Wird jedoch möglichst nahe unterhalb desselben eine Scheibe von blankem Aluminiumblech angebracht, so rotirt das Kreuz selbst bei dicht bedecktem Himmel fast ebenso schnell wie die empfindlichsten der bisher von mir beobachteten Radiometer. Der Sinn der Rotation entspricht einer Emission von der Metallfläche aus.

Soweit mir bekannt, sind Radiometer dieser Art bisher noch nicht construirt worden. Vom Standpunkte der aufgestellten Hypothese unterscheiden sich dieselben von den bisherigen principiell dadurch, daß bei ihnen nicht die Triebkraft durch die *Reaction* der emittirten Theilchen, sondern durch die Uebertragung der lebendigen Kraft der

ausgesandten Theilchen auf die Flügel vermittelst des *Stofses* erzeugt wird.

Experimentelle Prüfung weiterer Folgerungen aus der Hypothese.

Es wurden bisher im Allgemeinen nur diejenigen Wirkungen betrachtet, welche aus einer Emission von der *Oberfläche der beweglichen Flügel* resultiren. Der zuletzt beschriebene Versuch bildet den Uebergang zur Untersuchung derjenigen Wirkungen, welche sich aus einer Emission materieller Theilchen von der inneren *Oberfläche der Gefäßwandungen* ergeben. Unserer Hypothese gemäfs müssen auch hier von jedem Flächenelemente, insofern es Strahlen aussendet, materielle Theilchen emittirt werden.

Es mögen  $p$  und  $p'$  (Fig. 10, Taf. II) zwei Flächenelemente der inneren Wandung eines Radiometers darstellen, welches nach Art der Anemometer mit halbkugelförmigen Flügeln construirt ist. Wie die Zeichnung lehrt, müssen die von den Elementen  $p$  und  $p'$  ausgesandten Theilchen sich den Flügeln des Radiometers gegenüber wie Luftströme den Flügeln eines Anemometers gegenüber verhalten. Es muss folglich das Radiometer mit Halbschalen unter dem Einflusse der von den Gefäßwandungen emittirten Theilchen in demselben Sinne wie ein Anemometer unter dem Einflusse von Luftströmungen rotire, d. h. entgegengesetzt wie unter dem Einflusse von *leuchtenden* Strahlen, welche weniger als dunkle von den Glaswandungen absorbirt werden.

Das Radiometer muss demgemäß unter dem Einflusse von dunklen Wärmestrahlen, oder wenn die Temperatur des Gefäßes auf anderem Wege, z. B. durch Versetzung des Instrumentes aus einem kalten in einen warmen Raum bewirkt wird, entgegengesetzt wie im Lichte rotire.

Werden dagegen die Gefäßwände abgekühlt und gewinnt hierdurch der Emissionsproces von der höher temperirten Oberfläche der beweglichen Flügel das Uebergewicht, so muss eine Rotation in demselben Sinne stattfinden, wie bei der Bestrahlung durch Tageslicht.

### Sechster Versuch.

Die hier aus der Emissionshypothese abgeleiteten Folgerungen werden sämmtlich durch den Versuch bestätigt. Man kann aber auch die Existenz einer Emission von Theilchen von den Gefäßwänden durch das in Fig. 9, Taf. II abgebildete Radiometer nachweisen. Es ist hierzu nur erforderlich, dasselbe durch Berührung mit der Handfläche von oben her zu berühren, um die Rotation bei der Bestrahlung durch Licht sofort in die entgegengesetzte zu verwandeln. Gleichzeitig entspricht die Emissionshypothese der von Hrn. Dr. Arthur Schuster in Cambridge ausgesprochenen Forderung, „*dass die auf der Mühle wirkenden Kräfte innere Kräfte seyn müssen, d. h. solche, die zwischen der Mühle und der Hülle wirken*“....<sup>1)</sup>.

Ein ähnlicher Gegensatz bezüglich der Rotationsrichtung je nach der Einwirkung *leuchtender* Sonnenstrahlen oder *dunkler* Wärmestrahlen, kann auch ohne Vermittelung der Emissionsprozesse von der Gefäßwand bewirkt werden.

Wenn die Flügel des Radiometers *eben* sind und aus *nicht* geschwärztem Aluminiumblech bestehen, welches einseitig mit dünnen Glimmerblättchen belegt ist, so absorbiert das Glimmerblättchen von den dunklen Wärmestrahlen mehr als die blanke Oberfläche des Aluminiums. Die Emission von Theilchen kann demgemäß in diesem Falle von der mit Glimmer belegten Seite eine grösse als von der unbelegten Aluminiumfläche seyn.

Das Radiometer wird demgemäß in diesem Falle bei Einwirkung dunkler Wärmestrahlen die entgegengesetzte Rotationsrichtung von derjenigen bei der Bestrahlung durch leuchtende Strahlen annehmen, wie dies bereits von den Gebrüdern Alvergnat<sup>2)</sup> beobachtet worden ist.

Der oben als dritte Modification des ersten Versuches von mir beschriebene Apparat, bei welchem nur *ein* be-

1) Vgl. Pogg. Ann. 1876, Heft 9 und Heft 12, S. 652.

2) Comptes rendus 1876, No. 4 (24. Juillet), p. 273.

weglicher Flügel aus blankem Aluminiumblech zur Anwendung kommt, der nur auf einer Seite mit einem sehr dünnen Glimmerscheibchen mit Hülfe von Wasserglas beklebt ist, geräth schon bei diffusem Tageslicht in sehr lebhafte Rotation. Dieselbe geht in die entgegengesetzte Richtung bei Anwendung von dunklen Wärmestrahlen über, und zwar ganz übereinstimmend mit der oben gegebenen Erklärung.

Will man bei einem Radiometer den Einfluß der Emissionsprozesse der Wandung eliminiren oder doch möglichst gegenüber den Emissionsprozessen von der Oberfläche der beweglichen Flügel zurücktreten lassen, so müssen die Krümmungsverhältnisse der letzteren nach allen Seiten möglichst dieselben und trotzdem ein Unterschied der Emission zwischen der convexen und concaven Seite hergestellt seyn. Diesen Forderungen wird annähernd durch diejenige Construction der Flügel genügt, welche oben (S. 165) bei der Beschreibung des vierten Versuches angegeben wurde.

(Nachtrag und Fortsetzung im nächsten Heft.)

---

## XVI. Ueber die Bestimmung der Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems; von Dr. E. Hoppe in Göttingen.

---

Gauss hat in seinen dioptrischen Untersuchungen neben der bisher üblichen Methode, die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems zu bestimmen, auch noch eine zweite angedeutet, zu deren Ausarbeitung ich durch eine Aufgabe, welche Hr. Prof. Listing im hiesigen mathematisch-physikalischen Seminar stellte, veranlaßt wurde.

Zur Vereinfachung nehmen wir an, daß das erste und letzte brechende Medium dasselbe sey, also daß das Linsensystem sich etwa in Luft befindet, so daß  $f = f'$  ist,

wo unter  $f$  die eine Brennweite, d. h. die Entfernung des ersten Brennpunktes vom ersten Hauptpunkte und unter  $f'$  die zweite Brennweite, d. h. die Entfernung des zweiten Brennpunktes von dem zweiten Hauptpunkte verstanden wird, oder was dasselbe ist, so, daß die Knotenpunkte mit den Hauptpunkten zusammenfallen.

Es habe das fragliche Linsensystem positive Brennweite, d. h. der erste Brennpunkt liege vom Object angerechnet vor dem ersten Hauptpunkte. Als Object wählt man am besten eine in Millimeter getheilte Glasscala.

Das Object befindet sich in  $A$  (Fig. 5, Taf. I), seine Grösse in Millimetern sey  $L$ . Das Bild dieses Objectes wird auf dem in  $B$  aufgestellten Schirme aufgefangen, die Grösse desselben sey  $L'$ . Man misst nun die Entfernung  $AB$ , welche während des ganzen Versuches unverändert bleibt. Ferner bestimmt man die Entfernung  $AB$  eines festen Punktes  $D$  an dem Linsensystem von dem Objecte (am besten wählt man dazu den Mittelpunkt der Fläche, welche durch den vorderen Rand der Fassung des Systems gelegt ist). Nun drehe ich ohne Object und Schirm zu verschieben das ganze Linsensystem um  $180^\circ$  um eine verticale Axe, so daß die Fläche, welche vorher dem Object zugekehrt war, jetzt dem Schirm zugekehrt ist und umgekehrt. Dann verschiebe ich das System in der optischen Axe so lange, bis das auf dem Schirm entworfene Bild wieder dieselbe Lage und dieselbe Grösse hat, wie vor der Drehung. Ist das der Fall, so ist damit erreicht, daß jetzt der vormalige erste Hauptpunkt auf die Stelle des ehemals zweiten Hauptpunktes fällt, und der vor der Drehung als zweiter Hauptpunkt bezeichnete an die Stelle des ersten kommt. Dann falle der Punkt  $D$  in  $D'$ , ich messe nun die Entfernung  $D'L' = b$ . Bezeichne ich nun mit  $f$  die Brennweite in der oben angegebenen Bedeutung, mit  $h$  die Entfernung des ersten Hauptpunktes von  $A$ , mit  $a$  die Entfernung des festen Punktes  $D$  von dem Object, mit  $b$  die Entfernung des festen Punktes  $D'$  ( $D$  in zweiter Lage) von dem Schirme, mit  $c$  den Abstand

des Bildes von dem Objecte, mit  $\varepsilon$  das Interstitium oder den Abstand der beiden Hauptpunkte von einander, endlich mit  $m$  den Quotienten  $\frac{L}{L'}$ , so ist

$$f = \frac{m(a-b)}{m^2 - 1}; \quad h = \frac{m(a-b)}{m-1}; \quad \varepsilon = \frac{(m+1)(b-a)}{m-1} + c.$$

**Beweis:** Bezeichne ich die Mitte des Interstitiums mit  $M$ , so dass  $HM = \frac{1}{2}\varepsilon$  ist und setze  $DM = d$ , so ist nach der Drehung offenbar  $DM = D'M = d$ , also ist (cf. Figur 6, Tafel I)

$$AH = h = a + d - \frac{1}{2}\varepsilon$$

$$BH' = h' = b + d - \frac{1}{2}\varepsilon,$$

nun ist aber

$$\frac{L}{L'} = m = \frac{AH}{BH'} = \frac{a+d-\frac{1}{2}\varepsilon}{b+d-\frac{1}{2}\varepsilon},$$

ferner ist

$$d = \frac{c-(a+b)}{2};$$

also

$$m = \frac{a + \frac{c-(a+b)-\varepsilon}{2}}{b + \frac{c-(a+b)-\varepsilon}{2}} = \frac{a+c-b-\varepsilon}{b+c-a-\varepsilon},$$

d. h.

$$\text{I) } \dots \dots \varepsilon = \frac{(m+1)(b-a)}{m-1} + c.$$

Nun ist

$$\frac{h}{h'} = m; \text{ d. h. 1) } h = m \cdot h';$$

ferner besteht die Gleichung

$$h + h' + \varepsilon = c, \text{ oder 2) } h + h' + \frac{(m+1)(b-a)}{m-1} = c.$$

Aus 1) und 2) folgt

$$\text{II) } \dots \dots h' = \frac{(a-b)}{m-1}$$

oder auch

$$\text{III) } \dots \dots h = \frac{m(a-b)}{m-1}.$$

Zur Bestimmung von  $f$  dient uns folgende bekannte Relation

$$\frac{f}{h} + \frac{f}{h'} = 1,$$

d. h.

$$\frac{f}{m(a+b)} + \frac{f}{m-a} = 1,$$

daraus ergiebt sich

$$\text{IV) } \dots \dots f = \frac{m(a-b)}{m^2 - 1}.$$

Endlich kann ich den Abstand des ersten Hauptpunktes von dem festen Punkte *D* leicht bestimmen:

$$DH = q = AH - a = \frac{a-mb}{m-1}.$$

Es mag nun an einem Beispiele diese Methode illustriert werden. Bevor ich dazu übergehe, will ich jedoch einige Bemerkungen über Vorsichtsmaafsregeln einfügen, die man bei dem Versuche zu beobachten hat.

Es muß vor allem darauf gesehen werden, daß das Object und der Schirm streng vertical stehen, was ich durch Visiren nach einem frei hängenden Lothe erreichte; ferner muß die Mitte des Objectes sich genau in der optischen Axe des Linsensystems befinden. Um das zu erreichen, befestige man das Linsensystem *S* (Fig. 6, Taf. I) auf einem Stativ, welches in *a* eine Drehung um die horizontale Axe, durch Lösen der Schraube *b* eine Drehung um die verticale Axe und zugleich eine Verschiebung nach oben und unten erleiden kann. Oben auf das Linsensystem lege man eine Libelle *c*, um die horizontale Lage des Systems genau erreichen zu können. Um die Verschiebung auch in der optischen Axe zu bewerkstelligen, befestige man auf der horizontalen Unterlage einen Maafsstab, längs welchem man das Stativ des Systems nach der Umdrehung verschiebt, oder markire die Richtung der optischen Axe durch einen Kreidestrich auf der Unterlage. Damit sich Object und Schirm durchaus nicht verschieben, klemme man beide an die Unterlage (Tischplatte) fest.

Bei nachfolgendem Versuche waren diese Vorschriften beobachtet. Zur Bestimmung wählte ich eine Stablinse, deren Krümmungshalbmesser (für beide Flächen gleich) ich auf 28,168<sup>mm</sup> bestimmte, die Dicke war 27,15<sup>mm</sup>.

Für  
folgen*c* =*a* =*b* =*L* =*L'* =Zw  
welche  
gebene  
dieser  
Werth  
meine  
führteBe  
Bilder  
in sein  
Verwe  
ist de  
Zum S  
mit g  
hiesigeBer  
a  
h  
p  
w  
E  
is  
st  
tu

Für obige Buchstaben in den Formeln ergaben sich folgende Werthe:

$c = 174^{\text{mm}}$	daraus berechneten sich: $\epsilon = 23,699^{\text{mm}}$
$a = 46,1$	$h = 45,7105$
$b = 104,9$	$h' = 104,5905$
$L = 11$	$q = -0,477$
$L' = 25,2$	$f = 31,8048.$

Zwei weitere Beobachtungen ergaben für  $\epsilon, q, f$  Werthe, welche sich in der zweiten Decimalstelle von den angegebenen unterschieden, ein Beweis für die Genauigkeit dieser Methode. Der um 0,0875 resp. 0,0675 zu grosse Werth von  $q$  erklärt sich wohl aus dem Uebelstande, daß meine Tischplatte, auf welcher ich die Messungen ausführte, nicht ganz horizontal stand.

Bei concaven Linsen mußt man beachten, daß die Bilder nur virtuell sind. Man hat daher die von Gauß in seinen dioptrischen Untersuchungen Art. 21 vorgeschlagene Verwendung des Mikroskops zu benutzen. Im Uebrigen ist der Versuch aber ganz analog dem beschriebenen. Zum Schlusse sey noch bemerkt, daß diese Methode jetzt mit gutem Erfolg auch bei den practischen Arbeiten der hiesigen Studirenden angewandt wird.

Bemerkung: „Nachdem obenstehender Aufsatz bereits abgeschickt war, erfuhr ich von Hrn. Dr. Meyerstein hier, daß er schon seit längerer Zeit sich eines Apparates bediene, der auf denselben Principien beruhe, wie der von mir angewandte, zur Bestimmung der Brennweite einer Linse und eines Linsensystems. Es ist das eine Uebereinstimmung der Gedanken, welche sich leicht aus der gemeinsamen Quelle: Gauß, dioptrische Untersuchungen, erklärt“.

---

### XVII. Ueber thermoelektrische Temperaturbestimmungen; von Rosenthal.

(Aus den Sitzungsber. d. physik.-medicinischen Societät zu Erlangen,  
Sitzung vom 6. Juni 1876.)

Um Bestimmungen der Bodenwärme zu hygienischen Zwecken zu machen, hatte ich mir vorgenommen, eigenthümlich construirte Thermoelemente von Neusilber und Eisen oder Kupfer und Eisen in verschiedenen Bodentiefen anzubringen und die Temperaturen durch Messung der Stromstärken zu bestimmen. Um mich von der Empfindlichkeit der Vorrichtung zu überzeugen, unternahm ich zunächst in Gemeinschaft mit meinem Assistenten, Hrn. Dr. Möller, eine gröfsere Reihe von Vorversuchen mit solchen Elementen. Anfangs erhielten wir ganz unregelmässige Ergebnisse, wir überzeugten uns aber, dass innerhalb der von uns untersuchten Gränzen (0° bis 20° C.) die elektromotorischen Kräfte den Temperaturdifferenzen der Löthstellen wirklich hinreichend proportional sind, wie es auch die bisherigen Schriftsteller über den Gegenstand angeben. Die beobachteten Unregelmässigkeiten röhren von Strömen her, die an den durch Klemmschrauben bewirkten Verbindungen der Drähte mit der Bussole entstehen, wenn diese geringe Temperaturdifferenzen haben, und es ist nothwendig, diese Verbindungen möglichst zu beschränken und Drähte und Klemmen aus demselben Material (Kupfer) zu nehmen.

Das Proportionalitätsgesetz als gütig vorausgesetzt, könnte man die Temperatur der einen Löthstelle ( $T$ ) finden, wenn die der andern Löthstelle ( $t$ ) bekannt wäre. Wir hätten dann  $T - t = C \cdot sc \dots \dots \dots \quad (1)$ , worin  $sc$  den mit Spiegel und Fernrohr abgelesenen Ausschlag in Scalenteilen bedeutet,  $C$  aber eine Constante, welche von der Empfindlichkeit der Bussole, den Widerständen im Thermokreise und der Natur der angewandten Metalle abhängt. Um diese Constante zu bestimmen, hätte man nur nöthig, für einen bestimmten Werth von  $T - t$  die Ablenkung zu bestimmen.

Als wir nun solche Versuche anstellten, erhielten wir für  $C$  sehr gut unter einander stimmende Werthe während einer Zeit von einigen Stunden, die Werthe zeigten aber von einer Versuchsreihe zur andern, oder wenn eine Versuchsreihe über mehrere Stunden ausgedehnt wurde, häufig plötzliche Sprünge. Wir wissen für diese Schwankungen

keinen andern Grund aufzufinden, als eine Aenderung in der *Empfindlichkeit der Bussole*. Wir benutzten eine Wiedemann'sche Bussole, von Hrn. Sauerwald gefertigt, welche nach der von Hrn. du Bois Reymond angegebenen Mothode durch einen unter dem schwingenden Magneten angebrachten Magnetstab astasirt und so vollkommen aperiodisch gemacht war, daß für sehr grosse Ablenkungen der Magnet nur um wenige Zehntel eines Scalenthels über seine Ruhelage hinausging, um sich dann sofort auf diese einzustellen. Eine solche Aenderung in der Empfindlichkeit der Bussole kann aber meiner Ansicht nach durch die Schwankungen der Intensität des Erdmagnetismus erklärt werden.

Für die practische Frage, welche uns beschäftigt, folgt daraus, daß zur Bestimmung der Temperatur  $T$  mindestens zwei Ablesungen mit genügend weit von einander verschiedenen Temperaturen der andern Löthstelle gemacht werden müssen. Geben wir dieser andern Löthstelle einmal die Zimmertemperatur ( $t_1$ ), das anderemal eine davon verschiedene ( $t_2$ ), wozu sich am besten die Temperatur 0 empfiehlt, so haben wir

$$T - t_1 = C \cdot s c_1 \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$\text{und } T - t_2 = C \cdot s c_2 \dots \dots \dots \quad (3),$$

aus welchen Gleichungen  $T$  und  $C$  bestimmt werden können unter der Voraussetzung, daß  $C$  während der kurzen Dauer der Versuche ungeändert geblieben ist.

### XVIII. Ueber die Natur der Gasmoleküle; von Ludwig Boltzmann in Graz.

(Auszug aus d. Sitzungsber. der kais. Acad. d. Wiss. zu Wien, Dec. 1876.  
Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser.)

Da die Annahme, daß die Gasmoleküle sich wie Aggregate materieller Punkte (der Atome) verhalten, zu Resultaten führte, welche mit der Erfahrung nicht in Uebereinstimmung stehen, so wurde dieselbe vom Verfasser fallen gelassen und es wird vorausgesetzt, daß es bei Berechnung der Stoßwirkung der Moleküle nahezu erlaubt ist, das ganze Aggregat, welches wir als ein einzelnes Gasmolekül bezeichnen und welches aus verschiedenen Körper- und vielleicht auch Aetheratomen bestehen kann, als ein starres zu betrachten. Er findet, gestützt auf seine

früheren von Maxwell und Watson verallgemeinerten Resultate, daß dann das Verhältniß der Wärmecapacitäten des Gases  $1\frac{1}{3}$  seyn muß, sobald die Gasmoleküle Kugelgestalt haben. Das Verhältniß der Wärmecapacitäten wird gleich 1,4, wenn die Moleküle die Form von starren Rotationskörpern, die aber keine Kugeln sind, haben, und  $1\frac{1}{2}$ , wenn sie beliebige anders gestaltete starre Körper sind. Es scheinen diese Zahlen wenigstens so weit mit den experimentell gefundenen übereinzustimmen, daß man nicht sagen kann, das Experiment liefere eine Widerlegung der in dieser Weise modifirten Theorie. Es wird auch nachgewiesen, daß die für die Wärmecapacität der Gase experimentell gefundenen Werthe unter dieser Voraussetzung in genügender Uebereinstimmung mit den Wärmecapacitäten der festen Körper stehen. Es versteht sich wohl von selbst, daß die Gasmoleküle keine absolut starren Körper seyn können; dies wird schon durch die Spektralanalyse widerlegt; es könnte seyn, daß die zu den Gasspectris Veranlassung gebenden Schwingungen nur kurz andauernde Erzitterungen während des Zusammenstoßes zweier Moleküle sind, vergleichbar den schallerregenden Schwingungen, welche beim Zusammenstoß zweier Elfenbeinkugeln entstehen.

### XIX. Berichtigung und Erklärung; von Theodor Hoh in Bamberg.

In meiner Mittheilung im 6. Heft des Jahrganges 1876 dieser Annalen sind auf S. 336, Z. 5 v. u. die Zahlen 4 und 7,3 in 0,7 und 1,8 zu verwandeln.

Vor etwa zehn Jahren habe ich Bd. 131, S. 658 den Hinweis gegeben, daß schon vor der nominellen Entdeckung der Fluorescenz Goethe einen darauf bezüglichen Versuch gemacht habe. Die hierzu von den HH. Emsmann Bd. 133 und Berthold Bd. 158 gelieferten Zusätze veranlassen mich zu der Erklärung, daß es bei der fraglichen Notiz weder um geschichtliche Priorität, noch um Vollständigkeit der zugehörigen Thatsachen, sondern einfach darum zu thun gewesen war, Goethe's eigene Leistung auf berestem Felde zur, wie es schien, bis dahin wenig verbreiteten Beachtung zu bringen.